

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

**Mechanické rameno pro snímací
zařízení**
Mechanical Arm for Scanning Device

Student:	Patrik Tošenovjan
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Jan Pavlík
Ostrava 2020	

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student: **Patrik Tošenovjan**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Mechanické rameno pro snímací zařízení.**
Mechanical arm for scanning device.
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte mechanické rameno pro snímací zařízení. Montáž ramene bude provedena ke stávajícímu zkušebnímu zařízení, které vytváří záběrové otisky ozubených kol (stopovací stand). Rozměry mechanického ramene vhodně dimenzujte podle potřebných rozsahů nutných ke snímání, zároveň s ohledem na rozměry stopovacího standu. Proveďte všechny nezbytné pevnostní kontroly. Nakreslete sestavný výkres a výrobní výkres dle pokynů vedoucího práce.

Zadané podmínky:

- hmotnost snímacího zařízení 1000 g,
- v otočných kloubech ramene umístěné úhlové stupnice,
- klouby ramene musí umožňovat pevnou aretaci v jakékoli poloze.

Seznam doporučené odborné literatury:

Ondrouch, Štupáková : Příručka statiky s příklady, skripta VŠB-TU Ostrava, 1986
Horyl Petr: Statika a Dynamika, skripta VŠB-TU Ostrava, 1988
Podešva, J.: Dynamika v příkladech. VŠB-TU Ostrava, 1999.
Němček, M.: Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, skripta VŠB-TU Ostrava, 2001

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Pavlík**

Datum zadání: 20.12.2018

Datum odevzdání: 18.05.2020

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2020

.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2020

.....*Tošenovjan*.....
Podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TOŠENOVJAN, P. *Mechanické rameno pro snímací zařízení*. Ostrava, 2020, 54 s. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů. Vedoucí práce: Pavlík, J.

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce a výpočty mechanického ramene pro snímací zařízení. Cílem práce je navrhnout mechanické rameno, umístěné na zkušebním zařízení, splňující zadaná kritéria. V úvodní části práce jsou popsány součinitelé záběru, způsob vytváření záběrových otisků ozubených kol, snímací zařízení a podpory snímacích zařízení. Dále jsou popsána zkušební zařízení. Následuje návrh variant konstrukce a následná volba jedné z nich. Dále je uveden popis konstrukce zvolené varianty. Výpočtová část je zaměřena na kontrolu ramene a jeho částí v kritických pozicích. Součástí práce je výkresová dokumentace.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

TOŠENOVJAN, P. *Mechanical Arm for Scanning Device*. Ostrava, 2020, 54 p. Bachelor Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, Thesis head: Pavlík, J.

The bachelor thesis is focused on design and calculations of a mechanical arm for scanning device. The aim of the work was to design a mechanical arm, which is situated on test equipment, meeting the specified criteria. The introduction describes coefficients of contact ratio, method of creation footprints of gears, scanning device and support of scanning devices. Next the test equipment is described. The following is the design of variants and selection of one of them. The description of selected variant is mentioned next. Calculations are focused on strength calculations of mechanical arm and its parts in critical positions. The work includes drawing documentation.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod.....	10
1 Záběrové zkoušky ozubených kol.....	11
1.1 Teoretické předpoklady	11
1.2 Zkušební zařízení	13
1.2.1 Otevřené typy zkušebních zařízení	13
1.2.2 Uzavřené typy zkušebních zařízení	14
1.3 Zkušební zařízení umístěné na VŠB	14
1.4 Postup měření záběrových otisků.....	15
1.4.1 Identifikační barvy	15
1.4.2 Povlaky z kovů.....	16
2 Typy snímacích zařízení	17
2.1 Mikroskopická kamera DNT.....	17
2.2 Digitální bezzrcadlový fotoaparát s makroskopickým objektivem.....	18
3 Doposud používané nástroje pro umístění snímacího zařízení.....	20
3.1 Focení od ruky.....	20
3.2 Použití stativu.....	20
3.3 Magnetický kloubový stojánek	21
4 Návrh variant umístění konstrukce	23
4.1 Varianta řešení A.....	23
4.2 Varianta řešení B.....	24
5 Popis navržené konstrukce.....	27
6 Kontrola a výpočet částí ramene.....	34
6.1 Kontrola šroubového spojení prvního kloubu v řadě.....	34
6.2 Kontrola ohybu vnitřní trubky teleskopického ramene.....	38
6.3 Kontrola svarového spojení části oka a přírubou	39
6.4 Kontrola pinu	43
6.5 Kontrola šroubového spoje mezi stolem a zkušebním zařízením	46
7 Závěr	49
8 Seznam příloh	51
9 Literatura.....	52

Seznam použitých značek a symbolů

Označení	Popis veličiny	Jednotka
A_t	Působíště třecí síly	mm
AB	Délka záběru	mm
D'	Vnější průměr vnitřní trubky teleskopického ramene	mm
D_{pin}	Průměr nosné části pinu	mm
D_t	Velký průměr oka	mm
F_1	Síla působící od snímacího zařízení	N
F_{1po}	Hlavní zatěžující síla v místě podpory	N
F_{oM8}	Osová síla v závitu upínací páky	N
F_{oM10}	Osová síla v šroubech M10	N
F_p	Síla od teleskopického ramene	N
F_{pin}	Síla působící na pin	N
F_{po}	Síla působící od podpory	N
F_{ruky}	Potřebná síla ruky	N
F_t	Reakční třecí síla v kloubu	N
F_{vs}	Síla od vertikálního otočného stolu	N
F_{ys}	Smyková síla působící na svar	N
L_{sv1}	Délka svaru	mm
M_A	Moment od sil působící na kloub	N·mm
M_{AO}	Ohybový moment vnitřní trubky	N·mm
M_{KM8}	Utahovací moment upínací páky	N·mm
M_{OB}	Moment k bodu B	N·mm
M_{Os}	Ohybový moment působící na svar	N·mm
M_{oL}	Moment sil působící na pin	N·mm
P_{M8}	Stoupání závitu M8	mm
P_{M10}	Stoupání závitu M10	mm
R_{eM8}	Mez kluzu materiálu 1.4305	MPa
R_{eM10}	Mez kluzu šroubu třídy pevnosti 5.8	MPa
S	Plocha svarů	mm ²
S_{M8}	Plocha dříku závitu M8	mm ²
S_{op}	Plocha průmětu pinu do kolmé roviny na průřez	mm ²
S_{pin}	Plocha průřezu pinu	mm ²
W_{KM8}	Modul průřezu v krutu upínací páky	mm ³
W_{OA}	Modul průřezu v ohybu vnitřní trubky	mm ³
W_{OSVX}	Modul průřezu svaru v ohybu	mm ³

W_{OSVX2}	Modul průřezu svaru v ohybu	mm ³
a	Velikost svaru (sklopený průřez)	mm
b	Společná (záběrová) šířka zubů	mm
d'	Vnitřní průměr vnitřní trubky teleskopického ramene	mm
d_{2M8}	Střední průměr závitu M8	mm
d_{2M10}	Střední průměr závitu M10	mm
d_{3M8}	Malý průměr závitu M8	mm
d_{3M10}	Malý průměr závitu M10	mm
d_t	Průměr díry pro šroub	mm
f	Součinitel tření hliníkových slitin	-
f_z	Součinitel tření v závitu	-
k	Bezpečnost šroubového spoje	-
k_3	Převodní součinitel pro koutový svar	-
k_4	Převodní součinitel pro koutový svar	-
k_s	Bezpečnost svarového spoje	-
k_{SM10}	Bezpečnost šroubového spoje	-
l_{op}	Délka působení tlaku	mm
m_p	Hmotnost teleskopického ramene	kg
m_{po}	Hmotnost podpory snímacího zařízení	kg
n	Počet šroubů	-
p	Rozteč zubů	mm
p_{pin}	Měrný tlak působící na pin	MPa
p_t	Normálová rozteč zubů	mm
$r_{páky}$	Poloměr momentu na upínací páce	mm
t	Tloušťka části oka	mm
α	Úhel sklonu boční křivky zubu	°
α_{M8}	Úhel profilu závitu M8	°
α_{M10}	Úhel profilu závitu M10	°
β	Úhel šroubovice na roztečném válci	°
β_s	Součinitel tloušťky koutového svaru	-
ε_α	Součinitel trvání záběru profilu	—
ε_β	Součinitel trvání záběru krokem	—
σ_{OA}	Napětí v ohybu vnitřní trubky	MPa
σ_{redM8}	Napětí redukované v závitu upínací páky	MPa
σ_{redM10}	Napětí redukované ve šroubu M10	MPa
σ_{reds1}	Redukované napětí ve svaru 1	MPa

σ_{reds2}	Redukované napětí ve svaru 2	MPa
σ_{SM10}	Tahové napětí v ose šroubu M10	MPa
σ_{tM8}	Tahové napětí v závitu utahovací páky	MPa
τ_{KM10}	Napětí v krutu šroubu M10	MPa
τ_{M8}	Napětí v krutu v závitu utahovací páky	MPa
τ_{Spin}	Smyková síla v pinu	MPa
$\tau_{\parallel s}$	Smykové napětí ve svaru	MPa
$\tau_{\perp s}$	Smykové napětí od ohybu ve svaru 1	MPa
$\tau_{\perp s2}$	Smykové napětí od ohybu ve svaru 2	MPa
φ'_{M8}	Redukovaný třecí úhel závitu M8	°
φ'_{M10}	Redukovaný třecí úhel závitu M10	°
ψ_{M8}	Úhel stoupání závitu M8	°
ψ_{M10}	Úhel stoupání závitu M10	°

Úvod

Bakalářská práce se zabývá návrhem, konstrukcí a pevnostní kontrolou mechanického ramene pro snímání záběrových stop ozubených kol. Mechanické rameno slouží k uchycení snímacího zařízení, které umožní opakovatelně vytvářet fotografie záběrových stop ze stejné polohy. Tato vlastnost zajistí snazší porovnatelnost výsledků. Potřebné pozice pro snímání jsou situovány v horní části převodové skříně. Zadaná maximální hmotnost snímacího zařízení je 1 kg.

Hlavními požadavky na konstrukci ramene jsou opakovatelné nastavení do požadovaných pozic a zajištění pracovního dosahu pro snímání určených pozic na převodové skříně. Dále je potřeba zajistit odpovídající tuhost ramene.

Požadavkem na montáž je uchycení ramene na rámu zkušebního zařízení, tak aby při montáži/demontáži převodové skříně nedošlo ke kolizi.

Cíle bakalářské práce jsou:

- návrh polohovací konstrukce ramene,
- provedení potřebných výpočtů,
- zajištění opakovatelnosti měření,
- zajištění potřebné tuhosti celé sestavy,
- návrh samotného umístění ramene na zkušebním zařízení,
- sepsání rešerše způsobů snímání,
- sepsání rešerše podpor snímacích zařízení,
- sepsání rešerše teoretických předpokladů záběru ozubených kol.

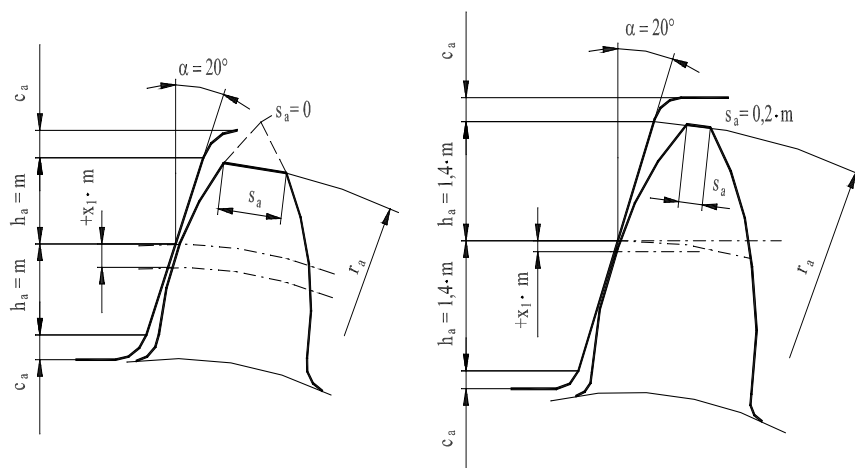
1 Záběrové zkoušky ozubených kol

Záběrové zkoušky ozubených kol byly navrženy z důvodu posouzení správnosti návrhu modifikací záběrových poměrů soukolí, které tvoří součinitel trvání záběru profilu ε_α a součinitel trvání záběru krokem ε_β .

1.1 Teoretické předpoklady

V této podkapitole vycházím z informací uvedených v [1],[2],[4],[5].

Funkčnost přímého ozubení definuje součinitel trvání záběru profilu ε_α , který udává průměrný počet párů zubů v záběru. Hodnota součinitele $\varepsilon_\alpha = 1$ znamená, že se trvale v záběru nachází jeden pár zubů, hodnota $\varepsilon_\alpha = 2$ znamená, že jsou trvale v záběru dva páry zubů a jestliže se číslo nachází v rozmezí $1 < \varepsilon_\alpha < 2$ znamená to, že se střídá jednopárový a dvoupárový záběr zubů. Minimální hodnota ε_α by se měla pohybovat v rozmezí 1,1 až 1,2, jelikož při běhu soukolí může kvůli výrobním nepřesnostem a vlivem provozních faktorů dojít ke snížení hodnoty součinitele ε_α . Pro ozubení nekorigované se standardním profilem zubu $\alpha = 20^\circ$ nelze dosáhnout $\varepsilon_\alpha = 2$. Maximální hodnota ε_α pro standardní ozubení s úhlem profilu $\alpha = 20^\circ$ a počet zubů pastorku $z_1 = 20$, kola $z_2 = 100$ je $\varepsilon_\alpha = 1,71$. Tato hodnota se dá zvýšit použitím profilu zubu $\alpha = 15^\circ$ až na hodnotu $\varepsilon_\alpha = 2$, ale za cenu oslabení na patě zubu. Při zvyšování úhlu profilu zubu se hodnota ε_α snižuje. Výrazného zvýšení součinitele trvání záběru profilu lze dosáhnout použitím tzv. dlouhých zubů – HCR (High Contact Ratio). Srovnání standardního profilu (vlevo) a dlouhých zubů (vpravo) společně se základním profilem je znázorněno na obrázku 1.1. Doporučené hodnoty součinitele trvání záběru pro dlouhé zuby jsou v intervalu $\varepsilon_\alpha = 2 \div 2,5$, v tomto rozsahu se dá dosáhnout nízké hlučnosti. Trvání záběru má vliv na rozložení sil v ozubení, hlučnost, únosnost a plynulost chodu. Při nižších hodnotách součinitele ε_α se zvyšuje možnost vzniku rázů mezi zuby a hlučnost soukolí.



Obrázek 1.1 – Srovnání standartního profilu ozubení a HCR [5]

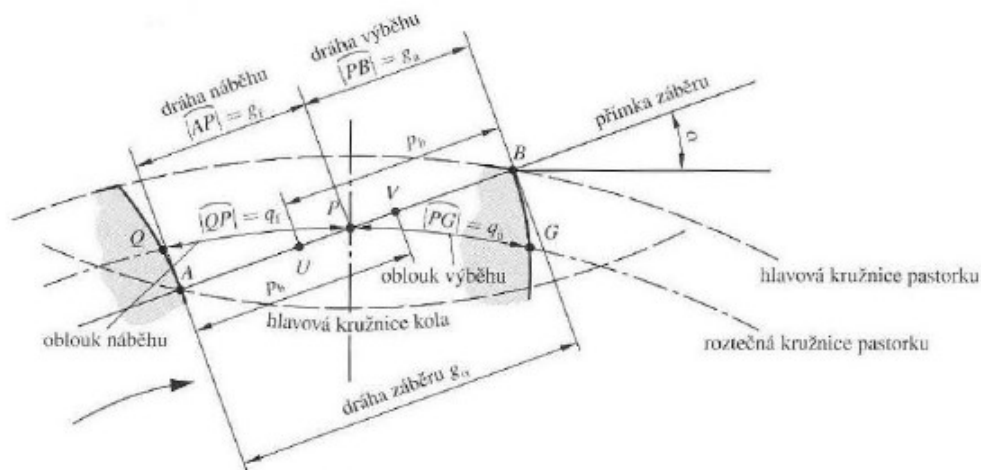
Součinitel trvání záběru profilu je dán vztahem:

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\overline{AB}}{p} \quad (1.1)$$

kde:

AB – délka záběrové úsečky (viz obrázek 1.2)

p – rozteč zubů



Obrázek 1.2 – Dráha záběru [4]

V případě šikmého ozubení k součiniteli záběru profilu přibude součinitel trvání záběru krokem ε_{β} (rovnice 1.2). Šikmé ozubení prodlužuje dobu trvání záběru o tzv. „krok šikmých zubů“. Během záběru šikmé ozubení díky úhlu sklonu zubů β urazí delší dráhu při odvalování než ozubení s přímými zuby. Velikost součinitele trvání záběru ε_{β} lze ovlivnit volbou úhlu šroubovice a zvolenou šířkou ozubení. Díky tomu lze dosáhnout libovolných hodnot pro každý modul. Nicméně úhel sklonu zubů ovlivňuje součinitel ε_{α} , který pak nedosahuje stejně vysokých hodnot jako u čelního ozubení. Součin součinitelů ε_{α} a ε_{β} by v ideálním případě měl dosahovat celočíselných hodnot.

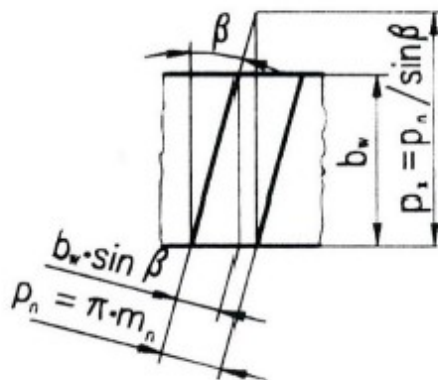
$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b \cdot \tan \beta}{p_t} \quad (1.2)$$

kde:

b – společná (záběrová) šířka zubů

β – úhel šroubovice na roztečném válci

p_t – normálová rozteč zubů



Obrázek 1.3 – šikmé ozubení [1]

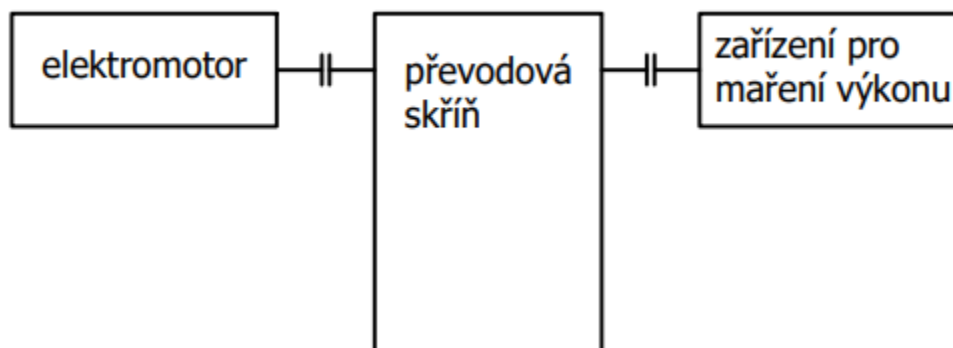
1.2 Zkušební zařízení

V této podkapitole vycházím z informací uvedených v [15], [16], [17].

Záběrové zkoušky ozubených kol, se v laboratorních podmínkách provádí na zkušebních zařízeních (testovacích okruzích) které jsou pro tento účel zkonstruovány. Zkušební zařízení může být využito jako měřící stanoviště automobilových převodovek, na kterém se dá měřit a posuzovat mnoho různých parametrů (např. měření průhybů hřídelů, záběrové otisky ozubených kol, vliv maziva, vliv teploty, hlučnost soukolí, vibrace) v závislosti na jeho vybavenosti. Zkušební zařízení funguje na principu maření výkonu. Zařízení se obecně dělí na otevřené a uzavřené typy.

1.2.1 Otevřené typy zkušebních zařízení

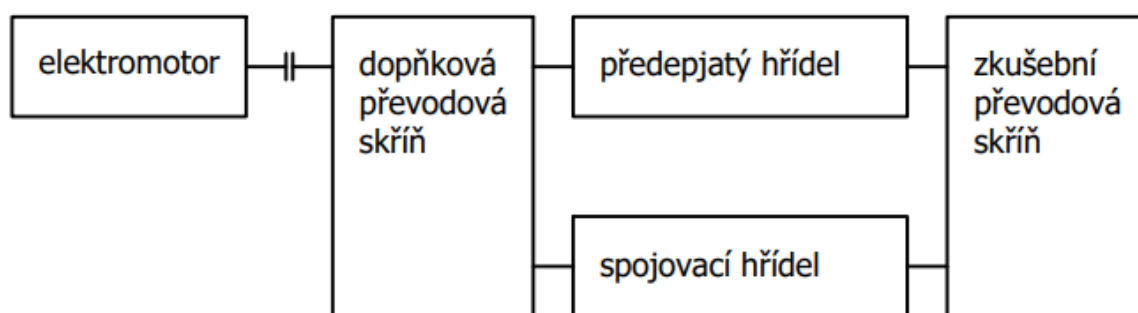
Obecně se otevřený zkušební okruh skládá z hnacího zařízení, testované převodové skříně a zařízení pro maření výkonu (obrázek 1.4). Zařízení pro maření výkonu může být aktivní – tedy elektromotor, který rekuperuje energii a snižuje energetickou náročnost zařízení nebo pasivní – například brzdné kotouče, které mechanickou energii přeměňují na tepelnou, tento typ je energeticky náročnější.



Obrázek 1.4 – Schéma otevřeného okruhu [15]

1.2.2 Uzavřené typy zkušebních zařízení

Uzavřené typy zkušebních zařízení (obrázek 1.5) fungují na principu tzv. Niemannova zkušebního okruhu (back to back). Tento typ zařízení využívá cirkulace energie v mechanickém okruhu mezi převodovými skříněmi. Oproti otevřeným zkušebním okruhům jsou uzavřené typy méně energeticky náročnější. Nízká energetická náročnost zařízení je vhodnější pro provádění dlouhodobých zkoušek na těchto typech. Okruh (obrázek 1.5) se skládá ze zkušební převodové skříně a doplňkové převodové skříně, které jsou spojeny dvěma hřídeli. Jedna z hřídelí je spojovací, ta jen přenáší výkon, druhá hřídel je předepjatá. Tato hřídel je vybavena mechanismem pro vyvození a fixaci potřebného předpětí. Spojením obou převodových skříní je okruh mechanicky uzavřen, což znamená, že během provozu se dodává pouze výkon, který je přibližně roven třecím ztrátám v ozubení a je zmenšen o účinnost ložisek. Doplňková převodová skříň je hřídelí spojena s hnacím elektromotorem. [16]

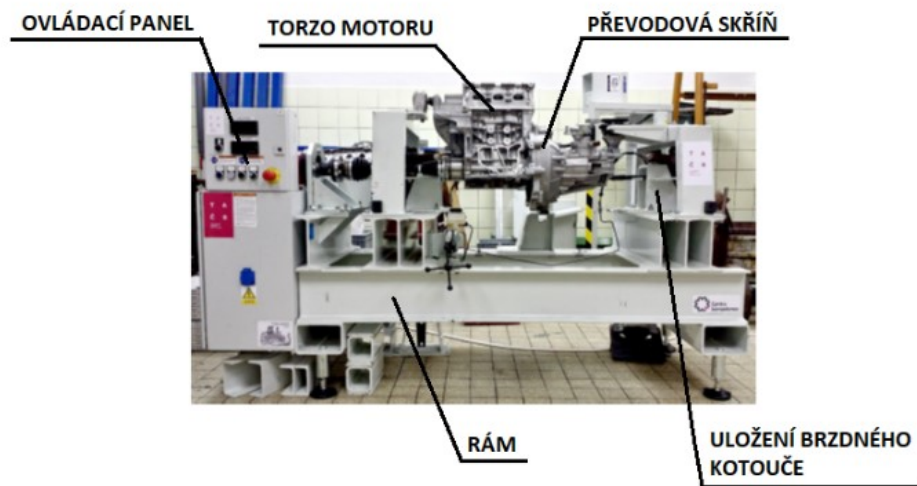


Obrázek 1.5-Schéma uzavřeného okruhu [15]

1.3 Zkušební zařízení umístěné na VŠB

Zkušební zařízení umístěné na VŠB-TUO je otevřený typ zkušebního zařízení, který se skládá z hlavní části – rámu, na který je přichycen elektromotor, který pomocí homokinetického kloubu pohání zkoušenou převodovku skrze torzo motoru. Na výstupu z převodové skříně jsou opět pomocí kloubových hřídelů napojené dvě kotoučové brzdy, které zajišťují maření výkonu v závislosti na velikosti brzdné síly, což zatěžuje zvolené soukolí. (viz obrázek 1.4)

V převodové skříní jsou na předem vybraných místech vyrobeny otvory, skrze které se snímají stopy ozubených kol. [1]



Obrázek 1.6 – Zkušební zařízení umístěné na VŠB [1]

1.4 Postup měření záběrových otisků

Jedním ze způsobů, jak lze posuzovat kvalitu záběru ozubených kol je vytváření záběrových otisků (stop ozubených kol). Dříve se tímto způsobem ustavovaly kuželová a šneková soukolí, kdy při protočení ozubených kol, se identifikační povlak setřel. Při setření identifikační vrstvy lze rozpoznat funkční plochu, kterou se přenesla síla z pastorku na ozubené kolo a naopak. V praxi se využívají dva způsoby zviditelňování otisků, a to pomocí identifikačních barev a povlaků z kovů. [1]

1.4.1 Identifikační barvy

V případě identifikačních barev je nutno do převodové skříně vyrobít otvory pro snímání otisků. Metoda spočívá v principu nanesení identifikační barvy na boky zubů, po protočení zvoleného soukolí se identifikační barva setře a na boční křivce zubu se vytvoří záběrový otisk. Postup vytváření záběrových stop ozubeného soukolí pomocí identifikačních barev je následovný:

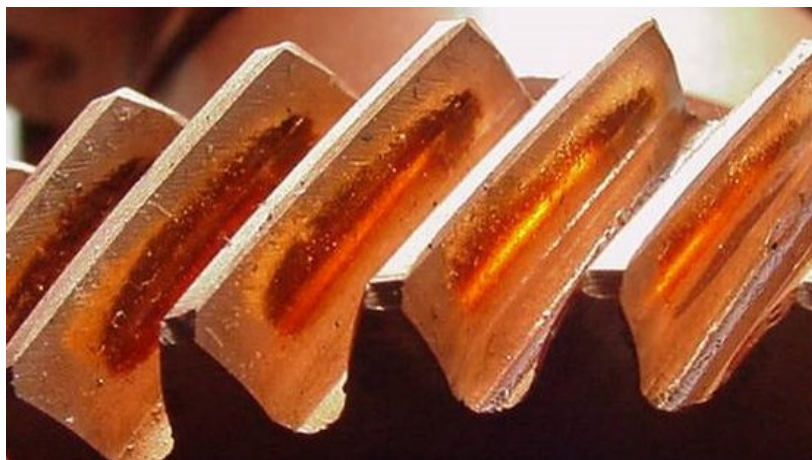
- Nejprve je potřeba očistit, odmastit a vysušit spolu zabírající soukolí.
- Poté je pouze na jedno ozubené kolo ze soukolí nanesený identifikační povlak. Počet zubů, na které se nanáší identifikační povlak (barva) lze volit dle vlastního uvážení. Barva musí být nanášena rovnoměrně, bez kapek, hrudek, viditelných tahů štětce, bez nedotřených míst apod.
- Proveďte se protočení soukolím pod zátěží. Pro správné zhotovení otisku je nutné, aby se soukolí alespoň jednou protočilo.
- Výsledný otisk se vyfotografuje a vyhodnotí.
- Soukolí se očistí od barvy a aplikuje se na něj antikorozi povlak, který zabrání korozi.[1]



Obrázek 1.7 – Identifikační barva znázorňující záběrový otisk ozubených kol [1]

1.4.2 Povlaky z kovů

Princip odečítání záběrových otisků ozubených kol spočívá v elektrolytickém pokovení boků zubů pomocí mědi. Při záběru soukolí dojde k vyleštění této vrstvy na spoluzabírajících plochách zubů. Podmínkou je, že při experimentu není převodová skříň naplněná olejem. Z vyleštěných ploch se poté odečtou potřebné parametry. Tloušťka pokovení by se měla pohybovat v rozmezí $4 \div 8 \mu\text{m}$. Pokud by tloušťka pokovení byla větší, docházelo by k zadírání soukolí a odlupování pokovení. Naopak pokud by tloušťka pokovení byla menší, stopa by nemusela být čitelná.



Obrázek 1.8 – Pokovené ozubení

Záběrový otisk dvou boků ozubených kol znázorňuje funkční plochu, kterou kola přenesly požadovanou sílu dál (obrázek 1.5). Funkční plocha se mění v závislosti na velikosti přenášeného zatížení, jelikož při zvyšujícím se namáhání se zabírající zuby ozubených kol více deformují, a to vede k zvětšené velikosti plochy přenosu sil. Při minimálním zatížení (tj. pouze při působení vnitřních odporů převodovky) se síla přenáší pouze určitou plochou styku zubů. Minimální plocha styku ozubených kol je určena normou ČSN 01 4682 a udávána v procentech v závislosti na stupni přesnosti IT výroby. [1]

2 Typy snímacích zařízení

K vytvoření fotografie záběrové stopy se využívají snímací zařízení, které dokážou pořídit snímky zubů relativně malým otvorem v převodové skříni. Otvory v převodové skříni jsou vyrobeny v předem vytipovaných místech, a to ve vrchní části převodové skříně a na jejích bocích. Otvor se také nachází ve spodní části skříně v místech soukolí zpětného chodu.

2.1 Mikroskopická kamera DNT

Mikroskopická kamera DNT s rozlišením digitálního snímacího čipu 5 Mpx a ohniskovou vzdáleností 100 mm je znázorněna na obrázku 2.1. Digitální zvětšení výsledné fotografie se pohybuje v rozsahu 10x až 100x oproti normálnímu měřítku. Pro nasvícení fotografie je využito 8 bílých led diod umístěných v kruhovém poli kolem digitálního čipu kamery. Výsledné rozlišení fotografie je 2592 x 1944 pixelů. Kamera se zapojuje do USB portu počítače, kde pomocí speciálního softwaru, který se dodává společně s kamerou, se kamera ovládá. Vnější průměr kamery je 35 mm. Ostření obrazu se dá nastavit pomocí prstence, který se nachází na těle kamery. [1], [7]



Obrázek 2.1 – Mikroskopická kamera DNT [6]

Výhody:

- malé rozměry těla kamery,
- osvětlení snímaného prostoru led diodami,
- ovládání přes počítač,
- vhodná kvalita fotografií.

Nevýhody:

- menší ostrost snímáče,
- nutnost výroby většího otvoru v převodovce.

Následující obrázek (obrázek 2.2) znázorňuje fotografii zachycenou mikroskopickou kamerou DNT. Ze snímku se dá vyčíst, že kamera dokáže zachytit snímek v dobré kvalitě, ale boky zubů z důvodu menší ostroty snímače jsou lehce rozmazané. [1]



Obrázek 2.2 – Snímek pořízený mikroskopickou kamerou DNT [1]

2.2 Digitální bezzrcadlový fotoaparát s makroskopickým objektivem

Dalším zařízením, které se k vytváření fotografií používá je bezzrcadlový fotoaparát Olympus OM-D E-M10 Mark II (obrázek 2.4) s makroskopickým objektivem. Fotoaparát dokáže pořizovat snímky ve velmi vysokém rozlišení 16,1 MPx a disponuje velkou hloubkou ostroty. Díky těmto vlastnostem však disponuje podstatně většími rozměry, zároveň celková hmotnost zařízení (fotoaparátu a objektivu) je vyšší než u mikroskopické kamery DNT. Fotoaparát totiž váží 390 gramů a hmotnost použitého objektivu je 185 gramů. Po sečtení pak hmotnost fotoaparátu a objektivu je 580 gramů. Rozměry fotoaparátu jsou 119,5x83,1x46,7 mm. Velkou výhodou tohoto modelu je možnost připojení k WiFi síti, která umožňuje pohodlný bezdrátový přesun pořízených fotografií do počítače. [8], [9]

Výhody:

- dobrá kvalita fotografií,
- připojení k wifi síti,
- vestavěný blesk.

Nevýhody:

- vyšší hmotnost a větší rozměry než u mikroskopické kamery DNT,
- vyšší pořizovací cena fotoaparátu a samotného objektivu.



Obrázek 2.3 – Digitální fotoaparát Olympus OM-D E-M10 II [9]

Snímky ozubených kol s využitím bezzrcadlového fotoaparátu Olympus s makroskopickým objektivem můžeme vytvářet z větší vzdálenosti s větší kvalitou snímků než s makroskopickou kamerou DNT, vzhledem k možnosti zaostření a přiblížení snímku se může fotoaparát ustavit od převodové skříně dále.



Obrázek 2.4 – Fotografie pořízená bezzrcadlovým fotoaparátem

3 Doposud používané nástroje pro umístění snímacího zařízení

Při snímání záběrových otisků požadujeme snímek v kvalitním rozlišení, dobře osvětlený, ze správného úhlu a je třeba zajistit opakovatelnost měření.

3.1 Focení od ruky

Držení snímacího zařízení v rukách umožňuje určitou flexibilitu, ale není možné dosáhnout opakovatelnosti snímání z totožné pozice. Ačkoli je focení rychlé, není potřeba pořizovat další zařízení k uchycování fotoaparátu a záběrová stopa je vyfocena. Z hlediska srovnávání záběrových stop vytvořených při různých hladinách je velice obtížné právě kvůli různým pozicím sklonu fotografií dosáhnout požadované přenosnosti snímání a následně se do porovnávání velikosti otisků kol dostane určitá chyba, jelikož snímky, které jsou pořízeny z více než jedné pozice zkreslují výsledné proložení pořízených fotografií a ovlivňují výslednou plochu dotyku zubů.

Výhody:

- možnost vytváření snímků z jakékoliv pozice,
- schopnost dostat se do špatně dostupných prostor.

Nevýhody:

- nemožnost znovu opakovatelnosti snímání,
- nutnost držení fotoaparátu.

3.2 Použití stativu

Použitím stativu (viz obrázek 3.2) se dá docílit potřebné kvality snímků, jelikož se zcela eliminuje vliv lidské chyby (třesu rukou). Díky stabilní poloze fotoaparátu umožňuje použití stativu zvýšení doby expozice. Doba expozice určuje čas, po který je závěrka fotoaparátu otevřena, zvýšením této hodnoty se dá docílit lepší kvality fotografií. Stativ se umístí vedle zkušebního zařízení, nastaví se potřebná výška a úhel naklopení plošiny pro fotoaparát. Nevýhodami je nemožnost dosáhnout snímacích pozic pod a nad převodovou skříní



Obrázek 3.1 – Stativ [19]

Výhody:

- Snímání fotografií v potřebné kvalitě.

Nevýhody:

- nelze zajistit opakovatelnost měření,
- nemožnost dosáhnout určitých snímacích pozic,
- velikost stativu a tvar je omezující.

3.3 Magnetický kloubový stojánek

Kloubový stojánek (obrázek 3.3) je možno přichytit na jakýkoli rovný magnetický povrch. Jeho přednostmi jsou možnost snímat i špatně dostupné pozice díky variabilitě nastavení ramene. Mezi nevýhody se řadí neopakovatelnost nastavení do totožné pozice a nutnost pro každou snímanou pozici přesunout stojánek. Jednotlivé elementy stojánku mohou časem ztrácet schopnost zůstat v nastavené pozici vlivem opotřebení mechanismu.[10]



Obrázek 3.2 – Magnetický kloubový stojánek [10]

Výhody:

- možnost uchycení stojánu prakticky na jakékoliv místo,
- dosah i na špatně dosažitelné pozice.

Nevýhody:

- nelze zajistit opakovatelnost měření,
- opotřebení elementů a tím snížená schopnost nastavitelnosti kloubů,
- nutnost přepnutí pro různé snímací otvory.

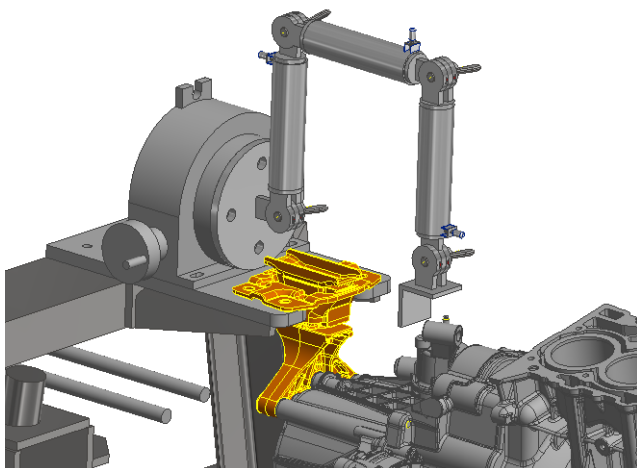
Výše popsané podpory snímacího zařízení sdílí společnou nevýhodu a to, že nelze zajistit přesnou opakovatelnost měření, což zanáší chybu do záběrových snímků při jejich vyhodnocování. Mechanické rameno, které jsem navrhl z důvodů eliminace výše popsaných nevýhod různých podpor je dostatečně flexibilní na to, aby dosáhlo na všechna potřebná snímací místa, které jsou dislokovány okolo celé převodové skříně a zároveň je zkonstruováno tak, že je možné zpětně opakovat snímání z určité pozice.

4 Návrh variant umístění konstrukce

Z hlediska opakovatelného nastavení fotoaparátu do stejné pozice je nutné navrhnout mechanické rameno takovým způsobem, aby bylo docíleno snadného nastavování do předem definovaných pozic. Navrhl jsem tedy dvě konstrukční varianty, které umožňují splnit požadavky uvedené v zadání práce. Varianty se liší v použití „základního prvku“ a v jejich umístění.

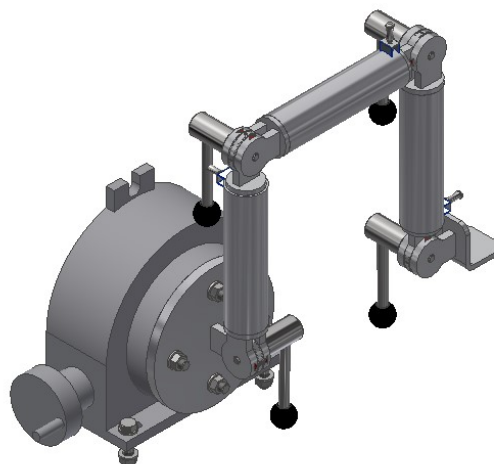
4.1 Varianta řešení A

První varianta návrhu mechanického ramene je založena na použití tří identických částí – teleskopických ramen, které jsou podrobněji popsány v následující kapitole. Jako základnu mechanického ramene pro tuto variantu jsem zvolil vertikální otočný stůl, který by byl přišroubovaný k vrchní části zkušebního zařízení, hned za lůžkem převodové skříně.



Obrázek 4.1 – Umístění varianty A

Tato varianta uchycení poskytuje kontrolu nad celou vrchní polovinou převodové skříně, při odpovídajícím natočení stolu, naklopení a vytočení ramen se dá dosáhnout snímacích pozic i pod převodovou skříní.



Obrázek 4.2 – Vytočení mechanického ramene

Výhody:

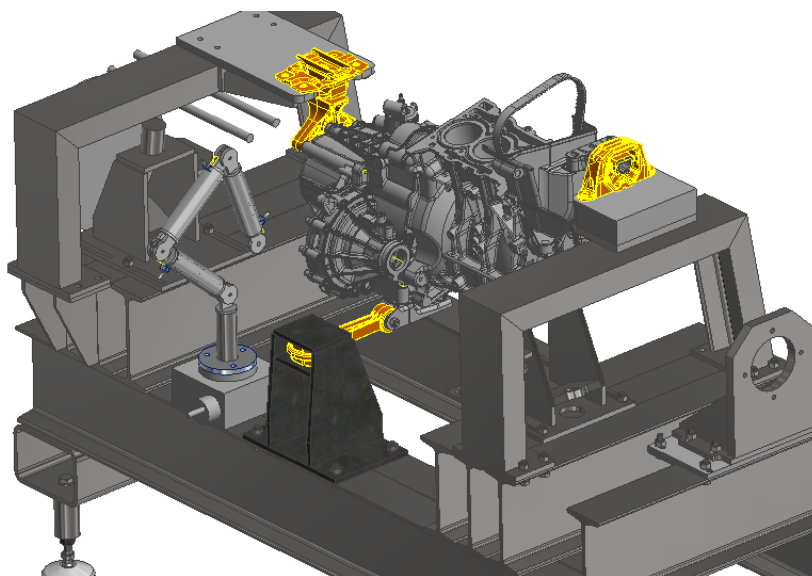
- dosah na snímací pozice na bocích převodové skříně,
- dosah (komplikovanější) na snímací pozice na spodní části převodové skříně,
- možnost vytočení ramene.

Nevýhody:

- zvýšená zástavba zkušebního zařízení,
- komplikovanější dosah na spodní část převodové skříně.

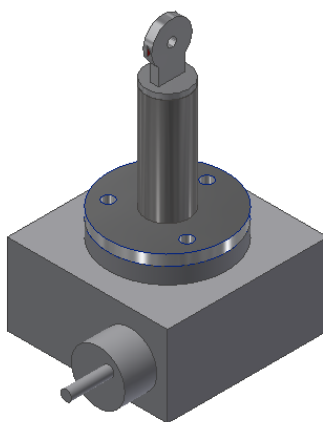
4.2 Varianta řešení B

Druhá varianta je opět založena na využití tří identických dílů – teleskopických ramen spojených klouby. Jako základnu varianty B jsem zvolil horizontální otočný stůl, na který je připojeno vyvýšení kloubu, které by sloužilo k zvýšení úhlového rozsahu ramene. Zvýšení je složeno z přípojovací desky na otočný stůl, zvyšovací trubky a části kloubu. (obrázek 4.4) Použití horizontálního otočného stolu zajišťuje rotaci ramene kolem vertikální osy, což dovolí rameno vytočit směrem od zkušebního zařízení.



Obrázek 4.3 – Varianta B umístění

Umístění varianty B jsem zvolil na rám zkušebního zařízení vedle momentové vzpěry, která podporuje převodovou skříň při zatížení.



Obrázek 4.4 – Horizontální otočný stůl s vyvýšením

Při realizaci varianty B bych docílil nižší výškové zástavby zkušebního zařízení. Jenže volba umístění vedle momentové vzpěry není úplně vhodná, jelikož zabírá manipulační prostor, který je vhodné ponechat. Snímání z druhé strany převodové skříně by nebylo úplně snadné, protože by obsluha musela rameno vést pod nebo nad převodovou skříní kde není prostor pro zbytečnou manipulaci.

Výhody:

- malá výšková zástavba,
- lepší dosah do snímacích pozic pod převodovou skříní.

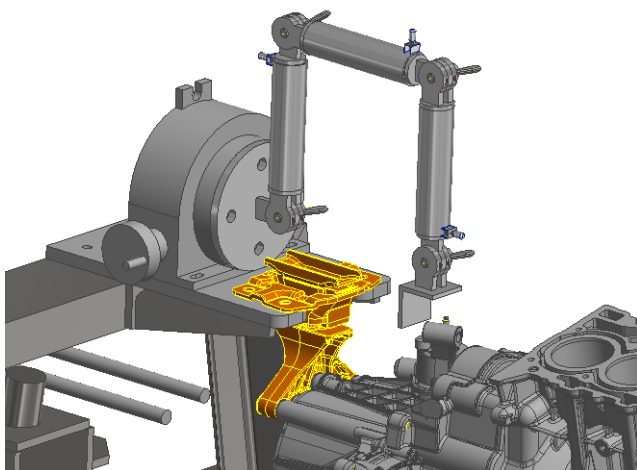
Nevýhody:

- horší snímání na opačné straně převodovky,
- zástavba manipulačního prostoru v okolí momentové vzpěry.

Při zamyšlení se nad výhodami a nevýhodami obou variant jsem se rozhodl pro variantu A. Jak už bylo výše zmíněno, varianta, kterou jsem zvolil sice zvyšuje zástavbu zkušebního zařízení, ale za to neomezuje v přístupu k převodové skříní. Výhodou zvolené varianty je také pohodlný přístup k snímacím pozicím po stranách převodové skříně a pohodlnější nastavení poloh.

5 Popis navržené konstrukce

Umístění sestavy mechanického ramene na zkušební zařízení jsem navrhl v souladu s variantou umístění A na vrchní části rámu, blízko vrchního bodu uchycení převodové skříně (obrázek 5.1.). Spojení vertikálního otočného stolu jsem realizoval pomocí šroubových spojů.



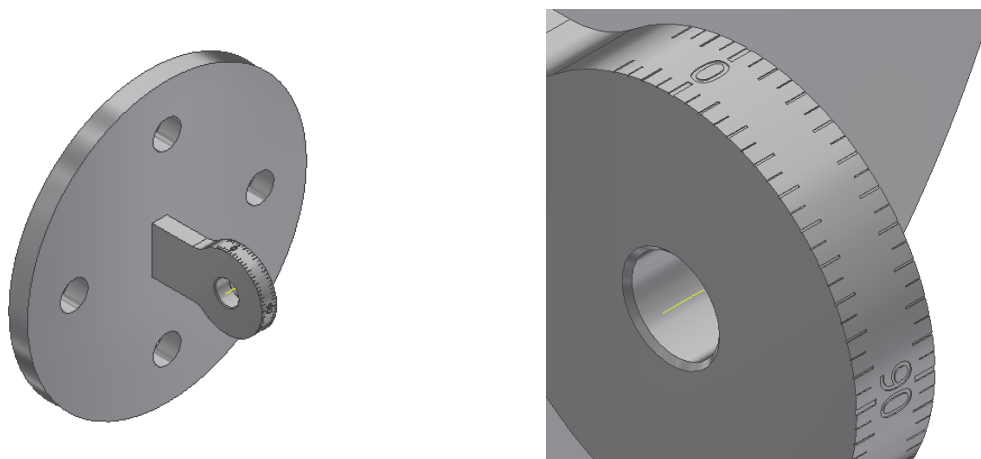
Obrázek 5.1 - Umístění sestavy na zkušebním zařízení

Hlavní částí mechanického ramene je vertikální otočný stůl výrobce Warco, konkrétně model HV6 o průměru ložné plochy 150 mm (obrázek 5.2). Stůl zajišťuje díky samosvornému šnekovému převodu naklápět rameno kolem horizontální osy v rozsahu 360°, zároveň dostatečnou tuhost otočného bodu, pevnou aretaci a opakovatelnou nastavitelnost polohy. Stůl díky své hmotnosti (12 kg) pomáhá přenášet klopné síly působící na šroubový spoj stolu a měřícího zařízení.



Obrázek 5.2 – Vertikální otočný stůl HV6 [11]

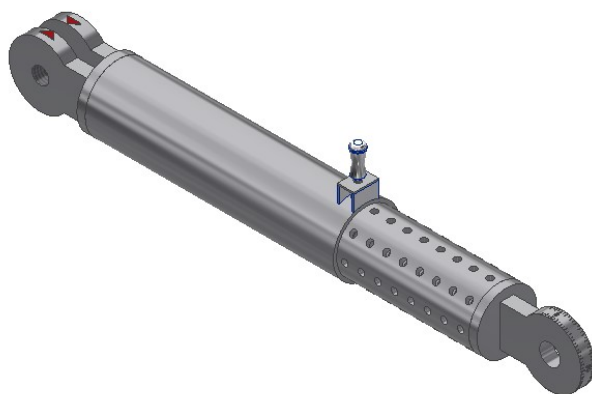
Montáž mechanického ramene k vertikálnímu otočnému stolu se provádělo pomocí základní desky pomocí T šroubů M10x30. Umístění prvního oka kloubu (obrázek 5.3) jsem zvolil přímo na základní desku pomocí dvou koutových svarových spojů. Kloub zajišťuje naklopitelnost paže ramene v závislosti na poloze otočného stolu až o 210°. Na kloubu jsem navrhl vygravírovanou úhlovou stupnici, jejíž rozsah je již zmíněných 210° rozdělených po 5°. Na stupnici jsem vyznačil pouze úhly 0° a 90° s tím, že místo hodnoty 180° je taktéž 0° a to z orientačních důvodů.



Obrázek 5.3 – Sestava základní desky (vlevo), detail oka kloubu opatřený úhlovou stupnicí (vpravo)

Mechanické rameno je složeno ze tří totožných částí (teleskopických ramen) (obrázek 5.4). Díky této konstrukci jsou výrazně sníženy náklady na výrobu. Jednotlivé teleskopická ramena jsou k sobě připojena pomocí šroubových spojů, ty pomocí třecí vazby udržují rameno v nastavené pozici. Poslední část mechanického ramene je finální plošina, ke které je možno přišroubovat, či jinak přichytit v závislosti na uchycovacích bodech snímacího zařízení, vybrané zařízení.

Vzájemné spojení teleskopických ramen a finální plošiny jsem v návrhu realizoval pomocí kloubů, na které jsem opět umístil vygravírované stupnice pro odečítání úhlu natočení a ukazatele polohy na stupnici.



Obrázek 5.4 – Teleskopické rameno

Sestavení kloubu jsem navrhl spojením tří částí, kde část se stupnicí je vždy přivařena na předchozí teleskopické rameno (v případě prvního kloubu na základovou desku) a zbylé dvě části jsou svařeny s částí následující. Spojení dílčích částí kloubu jsem realizoval pomocí nerezové upínací páky KIPP (K0109.1085x25) s vnějším závitem M8 o délce 25 mm (obrázek 5.5).



Obrázek 5.5 – Upínací páka [18]

Upínací páka je strojní součást, která umožňuje upínání pouze když je vnější část vtlačena směrem do závitu. V upínací páce je mechanismus, který při otáčení pákou bez potřebného tlaku umožní rotaci páky bez utahování závitu. Tento princip zajistí možnost utažení závitu i v polohách, kde by nebylo možno pákou otočit kolem celé své osy. Sestavený kloub svým tvarem připomíná vidlici.

Navržený otvor pro šroub vedoucí skrze dílčí část kloubu, která je přímo v kontaktu s hlavou upínací páky a část se stupnicí není na rozdíl od zbývajících částí opatřen závitem do které je páka zašroubována. (obrázek 5.6)



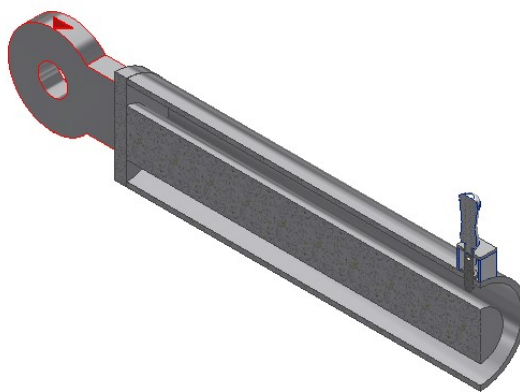
Obrázek 5.6 – Detail kloubu spojující dvě teleskopická ramena

Těleso paže jsem navrhl s možností prodloužení až o 80 mm s krokem prodloužení po 10 mm. Těleso je složeno ze dvou částí – vnější a vnitřní.

První část (vnější tělo paže) jsem navrhl složenou z trubky o vnějším průměru 40 mm, tloušťce stěny 2 mm a délce 150 mm. Na konci vnějšího těla je přivařena záslepka, tvořena kruhovou tyčí o průměru 40 mm a délce 5 mm, na kterou jsou přivařené již zmíněné oka kloubu. Dále jsem navrhl vodící tyč pro kluzné ložisko, která je navařena k záslepce. Vodící tyč je charakterizována průměrem 20 mm a délkou 150 mm (obrázek 5.8). Kluzné ložisko je uloženo ve vnitřní části teleskopického ramene. Pro zajištění aretace polohy při prodlužování a rotaci paže jsem navrhl pin box pevně spojený s vnější částí teleskopického ramene. Jedná se o svařenec složený ze tří na sebe kolmých plechů, kde dva čelní plechy, které dosedají na vnější průměr vnější části ramene mají spodní části vypálenou kruhovou výseč tak, aby dosedly na trubku (obrázek 5.7 a 5.8). Aretační pin jsem navrhl ze dvou dílů (spodní a vrchní (obrázek 5.9)), realizaci jejich vzájemného spojení jsem navrhl pomocí závitů. Proti zamezení vysunutí pinu z nastavené pozice slouží tlačná pružina, která se nachází mezi osazením na spodní části pinu a vrchním uložením pružiny.



Obrázek 5.7 – Aretační box s pinem a detail dvojdílného pinu



Obrázek 5.8 – Řez první části paže

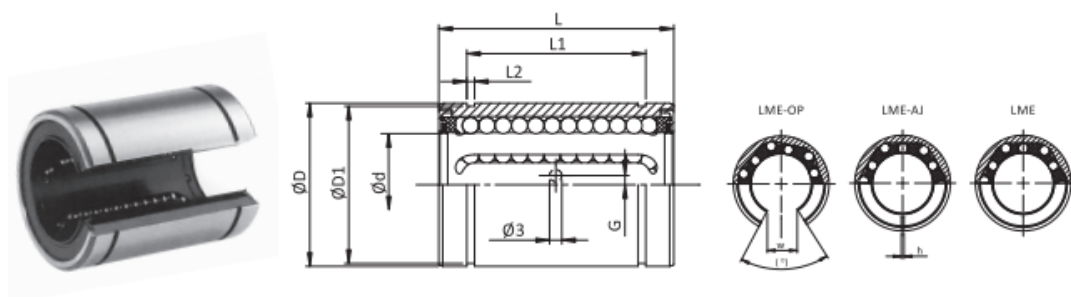
Jako polotovar druhé části teleskopického ramene (vnitřní část) jsem zvolil trubku o vnějším průměru 36 mm, tloušťce stěny 3 mm a délce 140 mm. Do této části jsem navrhl díry o průměru 4 mm, v rotačním poli o rozteči 6 mm, počtu prvku 8 po obvodu součásti (tj. 8 poloh pro rotaci kolem své osy). Počet děr v jedné rovině je 9 (tj. 9 poloh pro aretování při vysouvání), celkový počet děr je 72 (obrázek 5.9).



Obrázek 5.9 – Řez druhé části paže

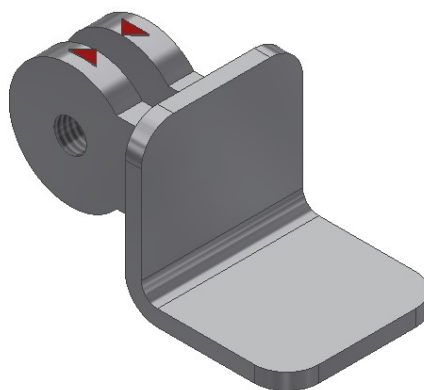
Kvůli zajištění tuhého a přesného pohybu při vysouvání a rotaci teleskopického ramene jsem vzájemný pohyb vnější a vnitřní trubky zajistil lineárním ložiskem LME-20-UU (obrázek 5.10) (vlepené, oboustranně utěsněné ložisko) o vnějším průměru 32 mm a vnitřním 20 mm. Pro ložisko jsem na začátku vnitřní části vnitřní trubky, která je vložena do vnější trubky a společně tvoří dvě hlavní části teleskopického ramene, navrhl osazení o délce ložiska a průměru shodném s vnějším průměrem ložiska. Na opačném konci se nachází koncovka, ke které je přivařena část kloubu, na se který napojuje další část ramene až už paže, nebo zakončení.

LME



Obrázek 5.10 – Lineární kuličkové ložisko LME [14]

Jako poslední část celého ramene jsem navrhl držák na snímací zařízení, který se opět skládá z ok a z pravoúhlého profilu, na který je možno přichytit snímací zařízení (např. fotoaparát) (Obrázek 5.11).



Obrázek 5.11 - Držák

Na většinu mnou navržených dílů (kromě spodní části pinu) je použita hliníková slitina EN AW-6060 T66 (ČSN 42 4401). Materiál je velmi dobře svařitelný, dá se tvářet, leštit, hůře obrábět, má velmi dobrou ochranu proti korozi. Mechanické vlastnosti viz. tabulka 5.1.

Tabulka 5.1 – Vlastnosti materiálu AW – 6060 v úpravě T66 [20]

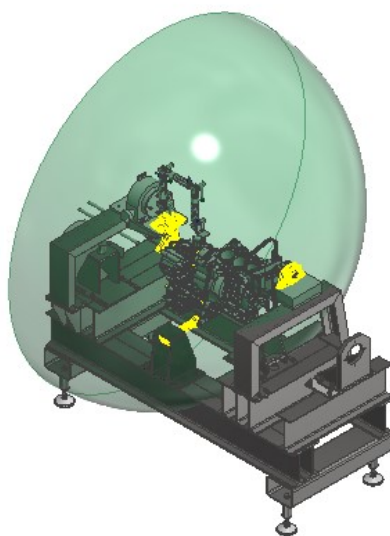
Mez pevnosti v tahu R_m	Mez kluzu v tahu R_{p02}	Mez pružnosti E
215 MPa	160 MPa	70 GPa

Jako materiál pro výrobu spodní části pinu jsem použil materiál 11 500, mechanické vlastnosti jsem uvedl do Tabulky 5.2.

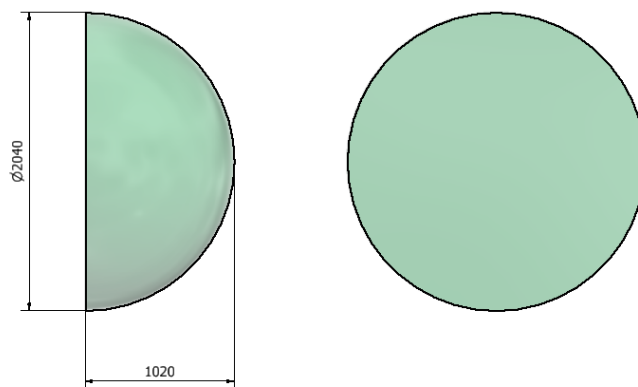
Tabulka 5.2 – Vlastnosti materiálu 11 500 [3]

Mez pevnosti v tahu R_m	Mez kluzu v tahu R_{p02}	Mez pružnosti E
560 MPa	275 MPa	210 GPa

Mnou navržené mechanické rameno má operační dosah v následujícím rozsahu (obrázek 5.12). Kde kulová plocha vyjadřující operační dosah mechanického ramene je znázorněná na obrázku 5.13.



Obrázek 5.12 – Dosah ramene na zkušebním zařízení



Obrázek 5.13 – Kulová plocha znázorňující dosah ramene

6 Kontrola a výpočet částí ramene

V této kapitole jsem se zabýval kontrolními výpočty mechanického ramene a stanovení bezpečností.

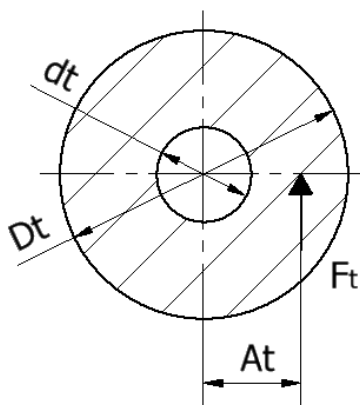
6.1 Kontrola šroubového spojení prvního kloubu v řadě

Jak již bylo výše zmíněno, jednotlivá teleskopická ramena jsou k sobě spojena v kloubech pomocí šroubových spojů. Ty vytváří svěrné spojení, které přenáší tíhu následujících částí ramene a tíhu snímacího zařízení.

Můj další postup se odvíjel od teorie, že součet všech sil tvoří moment ke kloubu, který je spojen šroubovým spojením, který zajišťuje třecí silou přenos těchto momentů, což zapříčiňuje nepootočení kloubu. Třecí síla, která působí jako reakce na zmíněný moment působí na působišti A_t viz. obrázek 6.1 a rovnice 6.1.

Výpočet poloměru působiště A_t třecí síly F_t :

Kde velký průměr oka kloubu $D_t = 38$ mm, průměr díry pro šroub $d_t = 9$ mm.



Obrázek 6.1 – Schéma působení třecí síly v kloubu

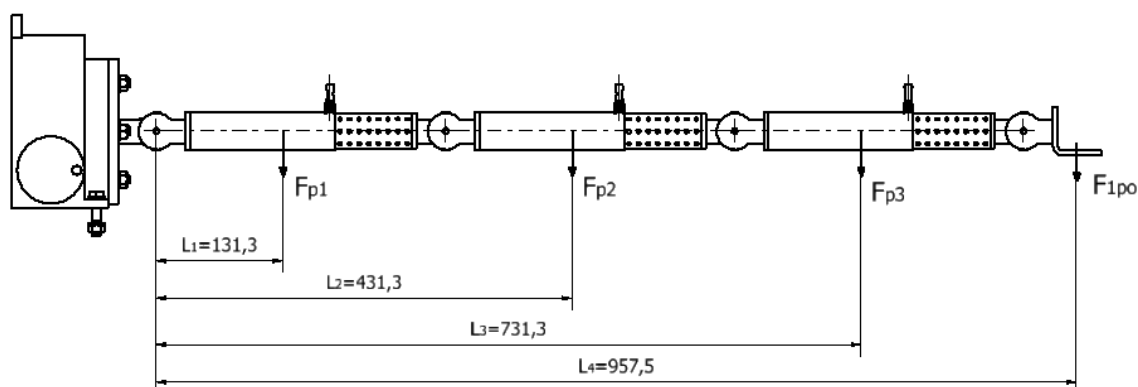
$$A_t = \frac{D_t - d_t}{2} \quad (6.1)$$

$$A_t = \frac{38 - 9}{2}$$
$$A_t = 15,5 \text{ mm}$$

Výpočet momentu, který působí na první kloub:

Jako nejvíce zatížený kloub uvažuji kloub první. Spojení v prvním kloubu je nejvíce namáháno momentem od hlavní zatěžující síly F_{1po} a přidavných sil F_{p1-3} vzniklých z hmotností teleskopických ramen F_p . Výpočet provádím při maximálním vysunutí ramen a při jejich horizontální poloze, tedy na kloubech mám všude 0° . Při této pozici bude na svěrné spojení působit největší klopný moment, ale její využití při snímání je sporné.

Nicméně strojní součásti se dimenzují vždy pro maximální zatížení. Na obrázku 6.2 jsou znázorněné síly, které působí na první kloub v řadě. Reakci kloubu zobrazuje obrázek 6.1.



Obrázek 6.2 – Schéma působení sil na první kloub

Pro výpočet potřebuji znát velikost síly, kterými působí teleskopické rameno, snímací zařízení, podpora snímacího zařízení na kloub. Hmotnosti teleskopického ramene $m_p = 0,466$ kg a podpory snímacího zařízení $m_{po} = 0,122$ kg jsem zjistil ze softwaru Inventor. Dále jsem vypočetl síly od hmotnosti součástí, které jsem uvedl v tabulce 6.1. Zatížení od snímacího zařízení a od podpory jsem sečetl, jelikož se jejich působíště nachází s určitou tolerancí v jednom místě. V rovnici 6.3 jsem ze sil, které vytváří momenty působící na první kloub vyjádřil potřebnou reakci F_t , kterou musí vyvodit svěrné spojení.

Tabulka 6.1 – Síly působící na mechanické rameno [N]

F_p	F_{po}	F_1	F_{1po}
4,57	1,2	9,81	11,01

$$\sum M_A = 0 = A_t \cdot F_t - L_1 \cdot F_p - L_2 \cdot F_p - L_3 \cdot F_p - L_4 \cdot F_{1po} \quad (6.2)$$

$$F_t = \frac{L_1 \cdot F_{p1} + L_2 \cdot F_{p2} + L_3 \cdot F_{p3} + L_4 \cdot F_{1po}}{A_t} \quad (6.3)$$

$$F_t = \frac{131,3 \cdot 4,57 + 731,3 \cdot 4,57 + 431,3 \cdot 4,57 + 957,5 \cdot 11,01}{12,75}$$

$$F_t = 1266 \text{ N}$$

kde:

L_{1-3} – vzdálenosti těžišť teleskopických ramen

F_{p1-3} – síly od teleskopických ramen

Výpočet osově síly F_{OM8} :

Svěrná síla je rovna osově síle F_{OM8} (rovnice 6.4) vyvozenou dotažením upínací páky. Přenos momentů sil, které působí na kloub přenese reakční síla F_t (obrázek 6.1). Reakční sílu F_t vyvodí síla F_{OM8} . Volím bezpečnost šroubového spoje $k = 2$. Reakční síla F_t působí v kloubu 2x (obrázek 5.6). Hodnotu tření mezi součástmi ze slitiny hliníku volím $f = 1,2$.

$$F_{OM8} = \frac{k \cdot F_t}{f \cdot 2} \quad (6.4)$$
$$F_{OM8} = \frac{2 \cdot 1266}{1,2 \cdot 2}$$
$$F_{OM8} = 1055 \text{ N}$$

Kontrola závitu M8 na upínací páce:

Upínací páka se závitem M8 je vyrobena z nerezové oceli 1.4305 (ČSN 17 243), jmenovité rozměry závitu M8 (P_{M8} –stoupání, d_{3M8} –malý průměr závitu, d_{2M8} –střední průměr závitu, α_{M8} –úhel závitu) a mez kluzu materiálu R_{eM8} jsem zanesl do tabulky 6.2.

Tabulka 6.2 – Parametry závitu M12

P_{M8} [mm]	d_{3M8} [mm]	d_{2M8} [mm]	α_{M8} [°]	R_{eM8} [MPa]
1,25	6,466	7,188	60	240

Dále jsem vypočetl redukovaný třecí úhel závitu M8 φ'_{M8} (rovnice 6.5) a jeho úhel stoupání ψ_{M8} (rovnice 6.6). Součinitel tření v závitu volím $f_z = 0,2$.

$$\varphi'_{M8} = \arctg\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) = \arctg\left(\frac{0,2}{\cos(30^\circ)}\right) \quad (6.5)$$

$$\varphi' = 13^\circ$$

$$\psi_{M12} = \arctg\left(\frac{P_{M8}}{\pi \cdot d_{2M8}}\right) = \arctg\left(\frac{1,25}{\pi \cdot 7,188}\right) \quad (6.6)$$

$$\psi = 3,17^\circ$$

V rovnici 6.7 jsem zkontroloval podmínku samosvornosti, kde úhel stoupání závitu ψ musí být menší než redukovaný třecí úhel φ' z důvodu, aby nedošlo k samovolnému povolení závitu.

$$\psi_{M12} \leq \varphi'_{M12} \quad (6.7)$$
$$3,17^\circ \leq 13^\circ$$

V rovnici 6.8 jsem vypočetl tahové napětí v ose šroubu σ_{tM8} a v rovnici 6.9 napětí v krutu ve šroubu τ_{M8} . Při utahování šroubu obě tyto napětí vyvodí osová síla F_{OM8} .

$$\sigma_{tM8} = \frac{F_{OM8}}{S_{M8}} = \frac{F_{OM8}}{\frac{\pi \cdot d_{3M8}^2}{4}} \quad (6.8)$$

$$\sigma_{tM8} = \frac{1055}{\frac{\pi \cdot 6,466^2}{4}}$$

$$\sigma_{tM8} = 32,13 \text{ MPa}$$

$$\tau_{M8} = \frac{M_{KM8}}{W_{KM8}} = \frac{F_{OM8} \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_{2M8}}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{3M8}^3}{16}} \quad (6.9)$$

$$\tau_{M8} = \frac{1055 \cdot \operatorname{tg}(3,17 + 13) \cdot \frac{7,188}{2}}{\frac{\pi \cdot 6,466^3}{16}}$$

$$\tau_{M8} = 20,8 \text{ MPa}$$

kde:

S_{M8} – plocha dříku šroubu M8

M_{KM8} – utahovací moment matice M8

W_{KM8} – modul průřezů v krutu dříku závitu

Z vypočtených napětí, které působí na dřík šroubu jsem dle Guestovy hypotézy vypočetl napětí redukované σ_{redM8} působící v dříku závitu M8 (rovnice 6.10). A následně jsem spočetl bezpečnost šroubového spoje (rovnice 6.11).

$$\sigma_{redM8} = \sqrt{\sigma_{tM8}^2 + 4 \cdot \tau_{M8}^2} \quad (6.10)$$

$$\sigma_{redM8} = \sqrt{32,13^2 + 4 \cdot 20,8^2}$$

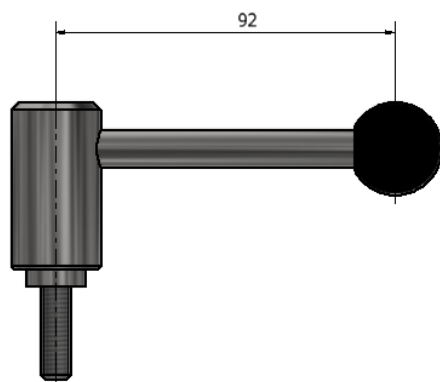
$$\sigma_{redM8} = 52,56 \text{ MPa}$$

$$k_{SM8} = \frac{R_{eM8}}{\sigma_{redM8}} \quad (6.11)$$

$$k_{SM8} = \frac{240}{52,56}$$

$$k_{SM8} = 4,7$$

Z rovnice 6.10 vyplývá, že redukované napětí v závitu M8 σ_{redM8} je nižší než mez kluzu materiálu 1.4305, při dotažení na potřebný moment tudíž nedojde k nenávratné deformaci šroubu. Bezpečnost šroubového spoje vyšla $k_{SM8} = 4,7$. Navržený šroubový spoj tedy považuji za vyhovující.



Obrázek 6.3 – Vzdálenost působíště síly na páku

V následujícím výpočtu (rovnice 6.12) jsem zkontroloval, zda obsluha dokáže dotáhnout upínací páku na požadovaný utahovací moment M_{KM8} , který vyvodí osovou sílu ve šroubu F_{OM8} . Poloměr utahovací síly na páce $r_{páky}$ je znázorněn na obrázku 6.3. Z rovnice 6.12 vyplývá, že síla, která je potřeba k dotažení upínací páky na potřebný utahovací moment je $F_{ruky} = 12$ N. Průměrný člověk dokáže tuto sílu vyvolat.

$$M_{KM8} = F_{ruky} \cdot r_{páky} \quad (6.12)$$

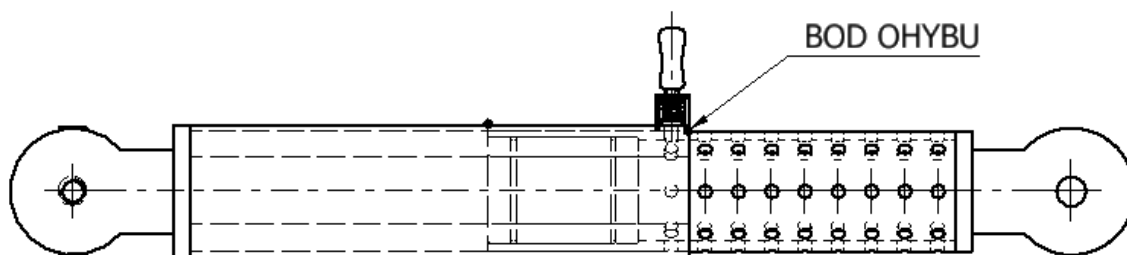
$$F_{ruky} = \frac{M_{KM8}}{r_{páky}}$$

$$F_{ruky} = \frac{1099}{92}$$

$$F_{ruky} = 12 \text{ N}$$

6.2 Kontrola ohybu vnitřní trubky teleskopického ramene

Kontrolu ohybu vnitřní trubky prvního teleskopického ramene v řadě ramen jsem provedl v jeho nejkritičtějším místě (obrázek 6.4). Za předpokladu, že největší ohybové napětí σ_{OA} (rovnice 6.14) nastane v poloze mechanického ramene vyobrazené na obrázku 6.5. Výsledný ohybový moment posouvajících sil M_{AO} (obrázek 6.5) k bodu ohybu vyobrazeném na obrázku 6.4 jsem spočetl v rovnici 6.13.



Obrázek 6.4 – Dvě místa, které kontroluji na ohyb

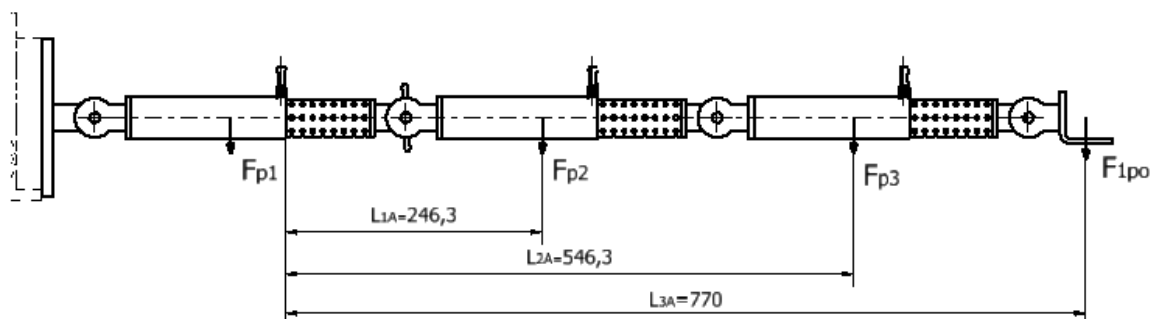
$$M_{AO} = F_{1po} \cdot L_{3A} + F_{p3} \cdot L_{2A} + F_{p2} \cdot L_{1A} \quad (6.13)$$

$$M_{AO} = 11,01 \cdot 770 + 4,57 \cdot 546,3 + 4,57 \cdot 246,3$$

$$M_{AO} = 12\,099,9 \text{ Nmm}$$

Kde:

L_{1A-3A} – vzdálenosti sil způsobující ohyb od těžišť teleskopických ramen



Obrázek 6.5 – Vzdálenosti sil k místu ohybu

Kde kvadratický modul průřezu v ohybu vnitřní trubky s vyvrtanými dírami $W_{OA} = 1641,72 \text{ mm}^3$ jsem zjistil ze softwaru Inventor.

$$\sigma_{OA} = \frac{M_{AO}}{W_{OA}} \quad (6.14)$$

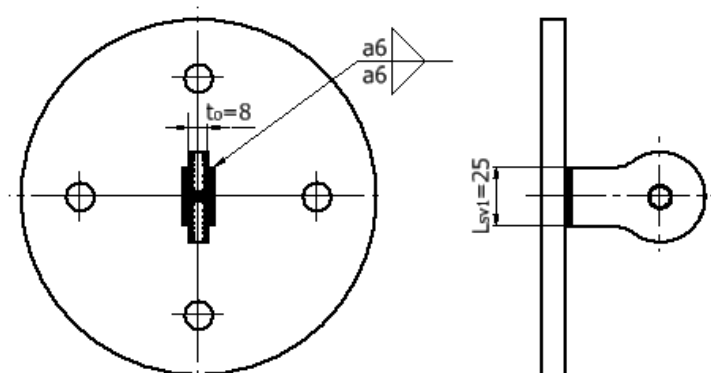
$$\sigma_{OA} = \frac{12099,9}{1641,72}$$

$$\sigma_{OA} = 7,4 \text{ MPa}$$

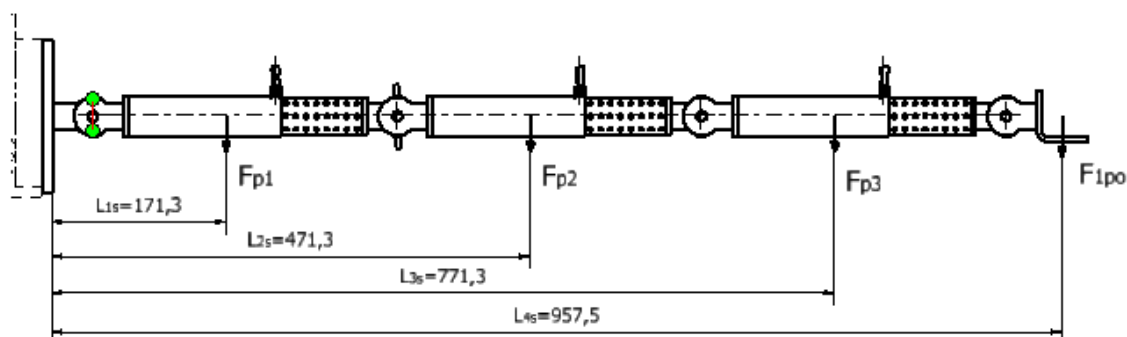
Mez kluzu použitého materiálu AW 6060 T66 je 160 MPa. Napětí v ohybu σ_{OA} je výrazně nižší než mez kluzu materiálu. Vnitřní trubka teleskopického ramene vyhovuje.

6.3 Kontrola svarového spojení části oka a přírubou

Svar mezi základní deskou a prvním kloubem (obrázek 6.6) uvažuji jako nejvíce namáhaný, jelikož na něj síly od teleskopických ramen, které jsou maximálně vysunuty a snímacího zařízení působí na největším rameni (páce) (obrázek 6.7).



Obrázek 6.6 – Svary oka s přírubou



Obrázek 6.7 – Vzdálenosti sil, které působí na svar

První kritická pozice:

Ohybový moment M_{Os} (rovnice 6.15) působící na svar jsem odvodil z obrázku 6.7. Na svar při pozici jako na obrázku 6.7 působí taky smyková síla F_{ys} (rovnice 6.16).

$$M_{Os} = F_{1po} \cdot L_{4s} + F_{p3} \cdot L_{3s} + F_{p2} \cdot L_{2s} + F_{p1} \cdot L_{1s} \quad (6.15)$$

$$M_{Os} = 11,01 \cdot 957,5 + 4,57 \cdot 771,3 + 4,57 \cdot 471,3 + 4,57 \cdot 171,3$$

$$M_{Os} = 17003,6 \text{ Nmm}$$

kde:

L_{1s-4s} – vzdálenosti těžišť teleskopických ramen ke svaru

$$\sum F_{ys} = F_{p1} + F_{p2} + F_{p3} + F_{1po} \quad (6.16)$$

$$\sum F_{ys} = 4,57 + 4,57 + 4,57 + 11,01$$

$$\sum F_{ys} = 24,72 \text{ N}$$

Vypočetl jsem napětí v ohybu $\tau_{\perp s}$ (rovnice 6.17), které způsobuje součet ohybových momentů a napětí ve smyku $\tau_{\parallel s}$ (rovnice 6.18) od posouvajících sil.

$$\tau_{\perp s} = \frac{M_{os}}{W_{osvx}} = \frac{M_{os}}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} \quad (6.17)$$

$$\tau_{\perp s} = \frac{17003,6}{2 \cdot \frac{6 \cdot 25^2}{6}}$$

$$\tau_{\perp s} = 13,6 \text{ MPa}$$

kde:

W_{osvx} – kvadratický moment průřezu v ohybu svaru

a – velikost svaru

$$\tau_{\parallel s} = \frac{\sum F}{2 \cdot S} = \frac{\sum F}{2 \cdot a \cdot l} \quad (6.18)$$

$$\tau_{\parallel s} = \frac{24,72}{2 \cdot 6 \cdot 25}$$

$$\tau_{\parallel s} = 0,1 \text{ MPa}$$

kde:

S – plocha svaru

Z vypočtených napětí jsem vypočetl napětí redukované σ_{reds1} (6.20), kde převodní součinitele k_3 a k_4 pro koutové svary jsem zjistil z tabulky 5.2 ze strany 73 z [2]. Vypočetl jsem součinitel tloušťky koutového svaru β_s pro tloušťky spojovaných součástí menších než 10 mm (rovnice 6.19). Volím bezpečnost svarového spoje $k_s = 1,5$.

$$\beta_s = 1,3 - 0,03 \cdot t \quad (6.19)$$

$$\beta_s = 1,3 - 0,03 \cdot 8$$

$$\beta_s = 1,06$$

$$\sigma_{reds1} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp s1}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{k_4}\right)^2} \quad (6.20)$$

$$\sigma_{reds1} = \sqrt{\left(\frac{13,6}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{0,65}\right)^2}$$

$$\sigma_{reds1} = 18,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{reds1} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} \quad (6.21)$$

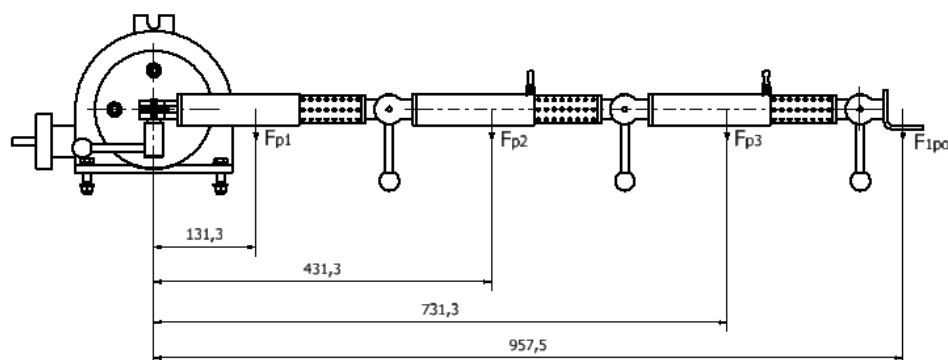
$$\sigma_{reds1} \leq 1,06 \cdot \frac{160}{1,5}$$

$$18,14 \text{ MPa} \leq 113,1 \text{ MPa}$$

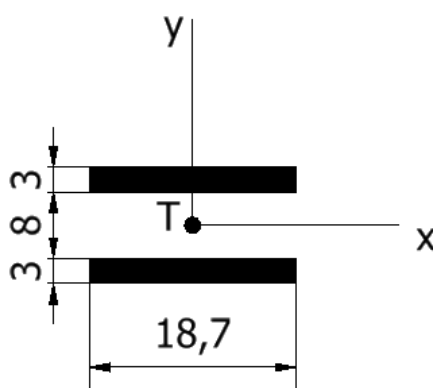
V rovnici 6.21 jsem porovnal redukované napětí a napětí dovolené. Redukované napětí je výrazně menší než napětí dovolené. Svarový spoj tedy vyhovuje.

Druhá kritická pozice:

Druhá kritická pozice pro svarové spojení oka a základní desky (obrázek 6.8) se při snímání nevyužije, ale je při polohování je dosažitelná, a proto svar v této pozici pevnostně zkontroluji. Na svar působí síly znázorněné na obrázku 6.8, na obrázku 6.9 jsem znázornil detail svaru.



Obrázek 6.8 – Síly působící na svar ve druhém směru



Obrázek 6.9 – Sklopený svar do roviny připojení

Smykové napětí $\tau_{\parallel s}$ působící na svar je stejné jako v první kritické pozici (rovnice 6.18), na svar působí ohybové napětí $\tau_{\perp s2}$ (rovnice 6.22), kde moment M_{Os} je stejný jako v kritické pozici 1, změní se jen směr namáhání svaru, a tedy i modul průřezu v ohybu W_{OSVx2} .

$$\begin{aligned}\tau_{\perp s2} &= \frac{M_{os}}{W_{osvx2}} = \frac{M_{os}}{2 \cdot \frac{l \cdot a^2}{6}} \\ \tau_{\perp s2} &= \frac{17003,6}{2 \cdot \frac{25 \cdot 6^2}{6}} \\ \tau_{\perp s2} &= 56,7 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{6.22}$$

Z vypočtených napětí jsem vypočetl napětí redukované σ_{reds2} (6.22), kde převodní součinitele k_3 a k_4 pro koutové svary jsem zjistil z tabulky 5.2 ze strany 73 z [2]. Volím bezpečnost svarového spoje $k_s = 1,5$.

$$\begin{aligned}\sigma_{reds2} &= \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp s2}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{k_4}\right)^2} \\ \sigma_{reds2} &= \sqrt{\left(\frac{56,7}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{0,65}\right)^2} \\ \sigma_{reds2} &= 75,6 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{6.23}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{reds2} &\leq \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} \\ \sigma_{reds2} &\leq 1,06 \cdot \frac{160}{1,5} \\ 75,6 \text{ MPa} &\leq 113,1 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{6.24}$$

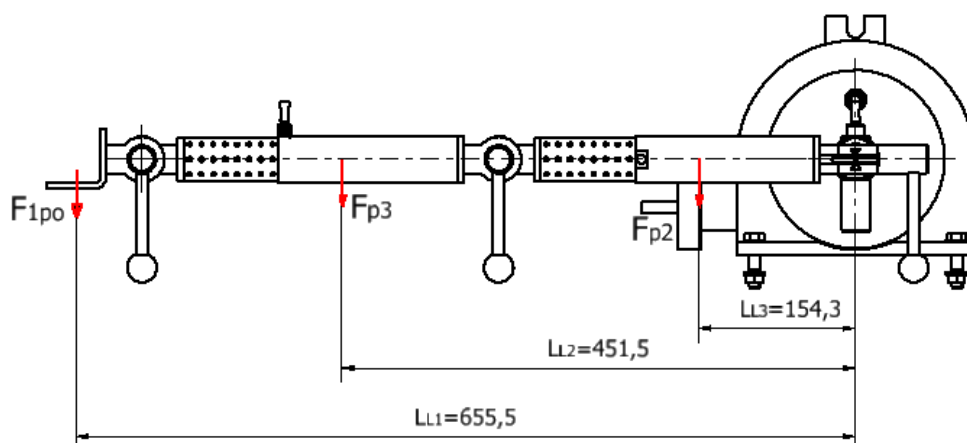
V rovnici 6.24 jsem porovnal redukované napětí a napětí dovolené. Redukované napětí je menší než napětí dovolené. Svarový spoj tedy vyhovuje.

6.4 Kontrola pinu

V této podkapitole jsem zkontroloval pin na střih a otlačení. V poloze, která je znázorněna na obrázku 6.9 je pin namáhán na střih (obrázek 6.10) a plocha, kterou se pin dotýká vnitřní trubky na otlačení. Materiál spodní části pinu, jak už bylo výše popsáno jsem zvolil 11 500, který má mez kluzu 270 MPa a dovolené napětí ve střihu 150 MPa. [12]

Výpočet síly působící na pin:

Síly od jednotlivých částí ramene (obrázek 6.10) působí na pin momentem M_{oL} (rovnice 6.25). Z obrázku 6.11 je patrné, že na pin působí síla F_{pin} (rovnice 6.27), která je reakcí na výsledný moment sil M_{oL} .



Obrázek 6.10 – Schéma sil působící na pin

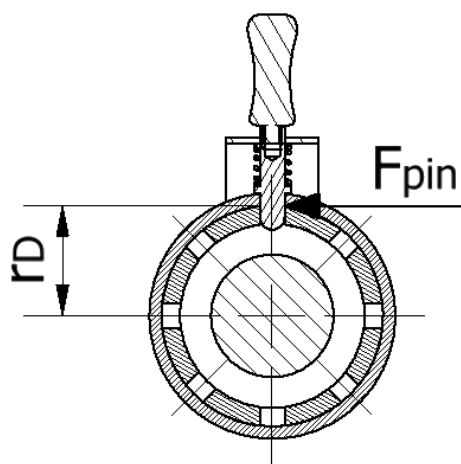
$$M_{oL} = F_{1po} \cdot L_{L1} + F_{p3} \cdot L_{L2} + F_{p2} \cdot L_{L3} \quad (6.25)$$

$$M_{oL} = 11,01 \cdot 655,5 + 4,57 \cdot 451,5 + 4,57 \cdot 154,3$$

$$M_{oL} = 9985,6 \text{ Nmm}$$

kde:

L_{L1-3} – vzdálenosti působišť sil od osy prvního teleskopického ramene



Obrázek 6.11 – Detail působení síly na pin

$$M_{pin} = F_{pin} \cdot r_D \quad (6.26)$$

$$F_{pin} = \frac{M_{pin}}{r_D} \quad (6.27)$$

$$F_{pin} = \frac{9985,6}{18}$$

$$F_{pin} = 554,8 \text{ N}$$

kde:

M_{pin} – moment, který působí na pin

Výpočet průřezu pinu S_{pin} (rovnice 6.28). Průměr nosné části pinu jsem zvolil $D_{pin} = 4$ mm. V rovnici 6.29 jsem vypočetl smykové napětí, které vyvolává síla F_{pin} .

$$S_{pin} = \frac{\pi \cdot D_{pin}^2}{4} \quad (6.28)$$

$$S_{pin} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4}$$

$$S_{pin} = 12,7 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{Spin} = \frac{F_{pin}}{S_{pin}} \quad (6.29)$$

$$\tau_{Spin} = \frac{554,8}{12,7}$$

$$\tau_{Spin} = 43,7 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí ve střihu pro materiál 11 500 je větší než smykové napětí τ_{Spin} . Velikost pinu je tedy dostačující.

Velikost měrného tlaku na plochu pinu p_{pin} , která přenáší zatěžující sílu F_{pin} jsem vypočetl v rovnici 6.29, kde plocha S_{op} znázorňuje průmět plochy pinu do roviny kolmé na zatěžující sílu. Tlak počítám v části pinu, který se stýká s vnější trubicí, kde tloušťka stěny trubky $l_{op} = 2$ mm.

$$p_{pin} = \frac{F_{pin}}{S_{op}} \quad (6.30)$$

$$p_{pin} = \frac{F_{pin}}{d_{pin} \cdot l_{op}}$$

$$p_{pin} = \frac{554,8}{4 \cdot 2}$$

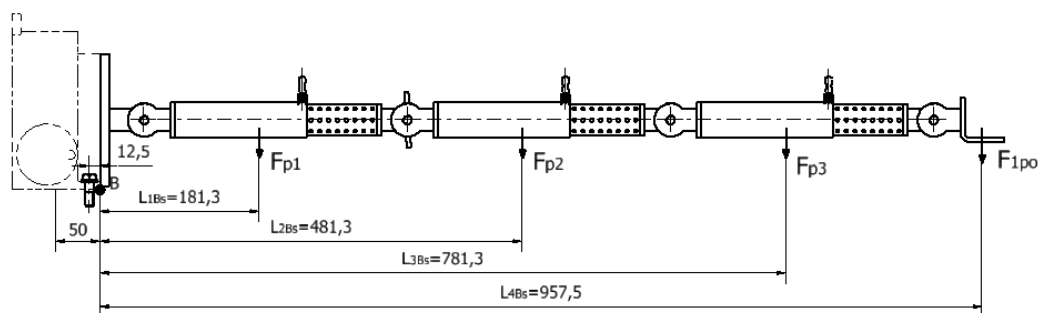
$$p_{pin} = 69,4 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí otláčení materiálu 11 500 je 100 MPa. Z rovnice 6.29 jsem zjistil, že maximální napětí, které pin bude namáhat je menší než napětí dovolené.

Kontrola otláčení díry, která drží pin:

Z obrázku 6.11 je patrné, že síla, kterou přenáší pin F_{pin} , působí trubky teleskopické paže. Díru kontroluji pouze v trubce vnější, jelikož je její tloušťka tenčí než tloušťka trubky vnitřní. Tlak, který působí na díru je stejný jako tlak, který působí na pin (rovnice 6.30). Dovolený tlak pro slitiny hliníku je 110 MPa [3], vypočtený tlak je menší. Kontrola na otláčení tedy vyhovuje.

6.5 Kontrola šroubového spoje mezi stolem a zkušebním zařízením



Obrázek 6.12 – Schéma působících sil na šroubové spojení mechanického ramene se zkušebním zařízením

Spojení sestavy mechanického ramene a zkušebního zařízení jsem navrhl pomocí šroubových spojů. Spoj musí přenést moment M_{OB} (rovnice 6.31), který je vyvolaný silami znázorněnými na obrázku 6.12. Po úpravě rovnice jsem vyjádřil osovou sílu ve šroubu F_{oM10} (rovnice 6.32), která působí jako reakce na výsledný moment M_{OB} . Hmotnost vertikálního otočného stolu je 12 kg. Síla, kterou působí stůl na rameno k bodu B je $F_{VS} = 117,72$ N.

$$\sum M_{OB} = 0 = -F_{1po} \cdot L_{4Bs} - F_{p3} \cdot L_{3Bs} - F_{p2} \cdot L_{2Bs} - F_{p1} \cdot L_{1Bs} + F_{VS} \cdot 50 + F_{oM10} \cdot 12,5 \quad (6.31)$$

$$F_{oM10} = \frac{F_{1po} \cdot L_{4Bs} + F_{p3} \cdot L_{3Bs} + F_{p2} \cdot L_{2Bs} + F_{p1} \cdot L_{1Bs} - F_{VS} \cdot 50}{12,5} \quad (6.32)$$

$$F_{oM10} = \frac{11,01 \cdot 957,5 + 4,57 \cdot 781,3 + 4,57 \cdot 481,3 + 4,57 \cdot 181,3 - 117,72 \cdot 50}{12,5}$$

$$F_{oM10} = 614,73$$

kde:

$L_{1Bs-4Bs}$ – vzdálenosti působíště sil od teleskopických ramen k bodu B

Jak už bylo výše zmíněno spojení zkušebního zařízení a mechanického ramene jsem navrhl pomocí dvou šroubů M10 třídy pevnosti 5.8, jmenovité rozměry závitu M10 (P_{M10} – stoupání, d_{3M10} – malý průměr závitu, d_{2M10} – střední průměr závitu, α_{M10} – úhel závitu), mez kluzu materiálu R_e a počet šroubů n jsem zanesl do tabulky 6.3. Zvolil jsem bezpečnost šroubového spoje $k = 2$. Vypočetl jsem redukovaný třecí úhel závitu (rovnice 6.33) a úhel stoupání (rovnice 6.34). Součinitel tření volím $f_z = 0,2$.

Tabulka 6.3 – Důležité parametry závitu M10

P_{M10} [mm]	d_{3M10} [mm]	d_{2M10} [mm]	α_{M10} [°]	Re_{M10}	n
1,5	8,160	9,026	60	400	2

$$\varphi'_{M10} = \arctg\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) = \arctg\left(\frac{0,2}{\cos(30^\circ)}\right) \quad (6.33)$$

$$\varphi'_{M10} = 13^\circ$$

$$\psi_{M10} = \arctg\left(\frac{P_{M10}}{\pi \cdot d_{2M10}}\right) = \arctg\left(\frac{1,5}{\pi \cdot 9,026}\right) \quad (6.34)$$

$$\psi_{M10} = 0,053^\circ$$

V rovnici 6.35 jsem zkontroloval podmínku samosvornosti, kde úhel stoupání závitu ψ musí být menší než redukovaný třecí úhel φ' z důvodu, aby nedošlo k samovolnému povolení závitu.

$$\psi_{M10} \leq \varphi'_{M10} \quad (6.35)$$

$$2,48^\circ \leq 13^\circ$$

V rovnici 6.36 jsem vypočetl tahové napětí v ose šroubu a v rovnici 6.37 napětí v krutu ve šroubu. Při utahování šroubu obě tyto napětí vyvodí osová síla F_{OM10} .

$$\sigma_{SM10} = \frac{F_{OM10} \cdot k}{n \cdot S_{M10}} = \frac{F_{OM10} \cdot k}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{3M10}^2}{4}} \quad (6.36)$$

$$\sigma_{SM10} = \frac{614,73 \cdot 2}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 8,160^2}{4}}$$

$$\sigma_{SM10} = 11,75 \text{ MPa}$$

kde:

n – počet šroubů

S_{M10} – plocha dříku šroubu

$$\tau_{KM10} = \frac{M_{KM10}}{2 \cdot W_{KM10}} = \frac{F_{OM10} \cdot \tg(\psi_{M10} + \varphi'_{M10}) \cdot \frac{d_{2M10}}{2}}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{3M10}^3}{16}} \quad (6.37)$$

$$\tau_{KM10} = \frac{614,73 \cdot \tg(0,053 + 13) \cdot \frac{9,026}{2}}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 8,160^3}{16}}$$

$$\tau_{KM10} = 3,01 \text{ MPa}$$

kde:

W_{KM10} – modul průřezu v ohybu dříku

Z vypočtených napětí, které působí na dřík šroubu jsem dle Guestovy hypotézy vypočetl napětí redukované σ_{redM10} působící v dříku závitu M10 (rovnice 6.38). A následně jsem spočetl bezpečnost šroubového spoje (rovnice 6.39).

$$\sigma_{redM10} = \sqrt{\sigma_{SM10}^2 + 4 \cdot \tau_{KM10}^2} \quad (6.38)$$

$$\sigma_{redM10} = \sqrt{11,75^2 + 4 \cdot 3,01^2}$$

$$\sigma_{redM10} = 13,2 \text{ MPa}$$

$$k_{SM10} = \frac{R_{eM10}}{\sigma_{redM10}} \quad (6.39)$$

$$k_{SM10} = \frac{400}{13,2}$$

$$k_{SM10} = 30,3$$

Z rovnice 6.40 vyplývá, že redukované napětí v závitu M10 σ_{redM10} je nižší než mez kluzu třídy pevnosti šroubu 5.6, při dotažení na potřebný moment tudíž nedojde k nenávratné deformaci šroubu. Bezpečnost šroubového spoje vyšla $k_{SM10} = 30,3$. Vzhledem k velikosti připravených uchycovacích otvorů ve vertikálním otočném stole jsem velikost šroubu nevolil menší. Navržený šroubový spoj tedy považuji za vyhovující.

7 Závěr

V rámci bakalářské práce jsem se zabýval návrhem mechanického ramene pro snímací zařízení, které bude využito při snímání záběrových otisků ozubených kol. V úvodní části rešerše jsem se věnoval záběrovým zkouškám ozubených kol. Při rozboru teoretických předpokladů jsem se zabýval součinitelem trvání záběru profilu a součinitelem trvání záběru krokem, které vypovídají o správnosti návrhu ozubeného soukolí. Dále jsem popsal dva typy v praxi využívaných zkušebních zařízení, a to zařízení s otevřeným a uzavřeným okruhem. Následně jsem popsal zkušební zařízení umístěné na VŠB, které je založeno na principu otevřeného zkušebního okruhu. Charakterizoval jsem otisk ozubených kol a popsal jsem postup jeho tvorby a následného snímání při měření. V další části rešeršní práce jsem se věnoval dvěma typům snímacích zařízení, které jsou doposud využívány k snímání záběrových otisků ozubených kol. Konkrétně se jednalo o mikroskopickou kameru DNT a bezzrcadlový fotoaparát s makroskopickým objektivem, u kterých jsem uvedl výhody a nevýhody. Následně jsem provedl rozbor typů podpor, doposud využívaných pro umístění snímacího zařízení při snímání.

Při konstrukčním návrhu jsem se řídil zadanými požadavky na konstrukci a montáž ramene. Konkrétně se jednalo o opakovatelné nastavení do požadovaných pozic, zajištění pracovního dosahu pro snímání určených pozic na převodové skříně, zajištění požadované nosnosti. Požadavkem na montáž bylo uchycení ramene na rámu zkušebního zařízení, tak aby při montáži/demontáži převodové skříně nedošlo ke kolizi. Navrhl jsem dvě varianty umístění mechanického ramene. Obě varianty využívají podobných nakupovaných dílů, a to otočných stolů s šnekovým převodem. Společná část obou variant jsou navržená teleskopická ramena, které tvoří hlavní části mechanického ramene společně s upínacími pákami a držákem pro snímací zařízení. Zhodnotil jsem výhody a nevýhody jednotlivých konstrukčních řešení. Vybral jsem první variantu řešení, která je dislokována na vrchním nosníku zkušebního zařízení, a to z manipulačních důvodů. Jako tuhý prvek je využitý vertikální otočný stůl, na který se pomocí kloubů připojovací desky připojují teleskopická ramena a držák pro snímací zařízení. Mechanické rameno může být vytočeno z pracovního prostoru nad převodovkou, případně může být odmontováno a přesunuto na jiné místo, či zařízení. Tato varianta umožňuje snímání na všech pozicích okolo převodové skříně. Jednotlivé prvky navrhované konstrukce jsem popsal v samostatné kapitole.

Ve výpočtové části jsem se zaměřil na výpočet potřebné upínací síly, která vyvoluje svěrné spojení v kloubu. Toto svěrné spojení musí být schopno přenést všechny typy zatížení působící na kloub od teleskopických ramen. Dále jsem provedl kontrolu kritického místa teleskopického ramene na ohyb. Provedl jsem kontrolu navrženého svarového spojení prvního kloubu se základní deskou, který je ze svarů na konstrukci nejvíce namáhán. Při kontrole jsem uvažoval dva typy zatížení. Následně jsem provedl kontrolu navrženého pinu na střih a kontrolu díry pro pin na otlacení. Vypočetl jsem potřebnou sílu na upnutí mechanického ramene k rámu zkušebního zařízení realizovaného pomocí dvou šroubových

spojů. V přílohách jsem vystavil sestavný výkres ramene a výrobní výkres vnitřní trubky teleskopického ramene.

8 Seznam příloh

Sestavný výkres: TOS0024-BP-01

Výkres vnitřní trubky: TOS0024-BP-02

9 Literatura

- [1] PAVLÍK, Jan. *Měření otisků ozubených kol*. Ostrava, 2016, 87 s. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů. Vedoucí práce Hruďčková, M.
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů: pro 2. a 3. ročník bakalářského studia [online]*. Ostrava, 2016. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů.
- [3] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Třetí doplněné vydání. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
- [4] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE, Richard G BUDYNAS, Miloš VLK a Martin HARTL. *Konstruování strojních částí*. Překlady vysokoškolských učebnic. Brno: Vutium, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [5] doc. Ing. FOLTA Zdeněk. *Části a mechanismy strojů III: Přednášky 2015-2016 [online]*. Ostrava, 2015. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~fol20/>
- [6] *Digitální mikroskopová USB kamera DNT digimicro [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://static.speedtech.sk/digitalni-mikroskopova-usb-kamera-dnt-digimicro-20-2-mpix-20-200x-42229.jpg>
- [7] *Mikroskopová kamera DNT DigiMikro Profi USB [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://www.modelobchod.cz/cz-detail-1323100-mikroskopova-kamera-dnt-digimicro-profi-usb-5-mpix-20-az-300-x.html?nastav_menu=
- [8] *M.ZUIKO DIGITAL ED 60 mm f/2.8 Macro [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/zuiko-digital-ed-60mm-macro-d389746.htm#popis>
- [9] *Digitální fotoaparát Olympus E-M10 Mark II [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://www.datart.cz/Digitalni-fotoaparát-OLYMPUS-E-M10-Mark-II-1442-kit-blackblack.html?gclid=Cj0KCQjwka_1BRCPARIsAMIUmEqWn2gwxOxGbQDnnKQjZSgYFecGWNpevZeNhXNDtaXCQ1pdT-ryjaAaAqytEALw_wcB

- [10] *Magnetický kloubový stojánek pro úchylkoměr, 350 mm [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.klz.inshop.cz/0751104-magneticky-kloubovy-stojanek-pro-uchylkomer-350-mm-helios-preisser>
- [11] *Vertikální rotační stůl HV6 [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.warco.co.uk/rotary-tables-engineering-tools/302977-horizontal-vertical-rotary-table-hv6.html>
- [12] *Hodnoty mezi pevností, kluzu, únavy a dovolených napětí pro ocel [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezi-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
- [13] *Loctite 638–50 ml [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.lepidla-online.cz/eshop/p/loctite-638-50-ml-upevnovani-0-109>
- [14] *LME kuličková pouzdra uzavřená utěsněná [online]*. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.matis.cz/cs/produkt/lme-kulikova-pouzdra-uzavrena-utesnena>
- [15] TEMPÍR, P. *Rekonstrukce standu pro zkoušení převodovek*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2019, 47 s. Vedoucí práce: Pavlík, J.
- [16] ŽÁČEK, JAN. *Konstrukce zařízení pro výzkum mazání ozubených převodů*. diplomová práce Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 79 s. Vedoucí doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.
- [17] KAZDA, Lukáš. *Uzavřený zkušební stav pro zkoušky planetových soukolí*. Diplomová práce Praha, 2017. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ. Vedoucí práce Gabriela Achtenová.
- [18] *Upínací páky nerezové KIPP [online]*. [cit.2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovl%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Sv%C4%9Brac%C3%AD-p%C3%A1ky-up%C3%ADnac%C3%AD-p%C3%A1ky-excentrick%C3%A9-p%C3%A1ky/P%C5%99ep%C3%ADnac%C3%AD-p%C3%A1ky/Up%C3%ADnac%C3%AD-p%C3%A1ky-nerezov%C3%A9.html>
- [19] *Hama stativ STAR 75 [online]*. In:.. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.hama.cz/pictureprovider.aspx?z=700&path=4175%5C00004175abx.jpg>

- [20] Mechanické vlastnosti materiálu EN AW 6060 [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/ENAW-6060>